

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССОВ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЛЬНО-ПРОДОЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

В статье рассмотрены технологические процессы получения полых деталей и деталей с фланцем способами комбинированного радиально-продольного выдавливания. Представлены разновидности и оценены технологические возможности процессов радиально-продольного выдавливания. Приведены схемы, позволяющие изготовить полые детали со сложным профилем. Моделированием методом конечных элементов и экспериментальным методом делительных сеток получены картины распределения деформаций при штамповке способами совмещенного и последовательного комбинированного радиально-прямого и радиально-обратного выдавливания. Сопоставление энергосиловых параметров процесса с традиционными способами продольного выдавливания подтверждают преимущества новых технологий. Определены характерные особенности деформирования, которые влияют на технологические возможности исследуемых способов выдавливания.

Ключевые слова: радиально-продольное выдавливание; полые детали; фланец; метод конечных элементов; метод делительных сеток; деформированное состояние; силы деформирования.

Введение

В промышленности широко применяются полые детали и детали с фланцем, которые, как правило, изготавливаются обработкой резанием. Между тем, процессы холодного выдавливания, обеспечивают высокое качество поверхности и точные размеры штампуемых заготовок и деталей, что снижает или полностью исключает необходимость в дополнительной механообработке резанием [1, 2]. Наиболее распространенными (традиционными) способами выдавливания являются способы продольного (обратного и прямого) выдавливания, для которых характерно течение выдавливаемого металла вдоль продольной оси симметрии. Поэтому детали, которые можно изготовить продольным выдавливанием, отличаются простотой формы [1]. Более сложные по форме детали, например детали с фланцем или боковым отростком, требующие увеличения количества технологических переходов штамповки, целесообразно изготавливать способами поперечного (радиального и бокового) выдавливания с истечением выдавливаемого металла в поперечном направлении. При этом металлом заполняется поперечная (круговая или канальная) приемная полость матрицы, выполненной разъемной, преимущественно по горизонтальной (поперечной) плоскости [2, 3].

Постановка задачи

Как правило, процессы холодного деформирования характеризуются высокими удельными и полными усилиями на инструмент, снижающими его стойкость и стабильность процесса [1, 3]. Способы деформирования, направленные для снижения этих ограничений, предусматривают создание более благоприятной для силового режима разномименной схемы напряженно-деформированного состояния, уменьшение площади контакта активного деформирующего инструмента с заготовкой, снижение нагрузок на инструмент за счет обеспечения большей степени свободы истечения металла или развитого радиального течения (раздачи металла), а также при помощи дополнительных силовых и кинематических воздействий на заготовку [3, 4]. Комбинирование схем продольного и поперечного выдавливания может быть методом создания более сложных способов деформирования, которые могут позволить изготовить за одну операцию полые и сплошные детали с фланцами или отростками, с глубокими полостями или более сложных пространственных конфигураций [3, 4]. При этом в зависимости от типоразмера изделий и цели совмещения простых схем деформирования возможно применение того или иного сочетания простых схем выдавливания.

Целью данной работы является обобщение способов радиально-продольного выдавливания, спо-

собствующих расширению технологических возможностей процессов холодной штамповки за счет усложнения формы штампуемых деталей и улучшения силового режима выдавливания.

Анализ технологических схем комбинированного выдавливания

Способы комбинированного радиально-продольного выдавливания (рис. 1) можно разделить на 3 группы, при этом для схем группы А характерным является одновременное выдавливание металла по нескольким направлениям из одного совмещенного очага деформации. Такое деформирование с многосторонним выдавливанием протекает в оптимальном саморегулируемом силовом режиме и требует меньших технологических сил. Трехсторонним выдавливанием (схема А1) можно получить детали типа стакана с фланцем и отростком. Стаканы или втулки с фланцем целесообразно получать радиально-обратным выдавливанием (схемы А2 и А3) [4, 5], а полые и сплошные стержневые детали с фланцем – радиально-прямым выдавливанием (А4) [4, 6].

Характерными примерами способов выдавливания с развитым радиальным течением материала заготовки при расширенных кинематических возможностях для деформирования металла являются процессы последовательного комбинированного радиально-продольного выдавливания с раздачей и обжимом. Схемы выдавливания, включенные в группу Б, отличаются последовательным (строго говоря последовательно-параллельным) выполнением приемов радиального и продольного выдавливания [3, 4]. При этом радиальное выдавливание металла осуществляется с раздачей, т.е. с течением от центра заготовки к периферии. В способах «безматричного выдавливания» выдавливание металла производится одновременно через боковую и

нижнюю торцовую поверхности заготовки (Б1) или через боковую поверхность заготовки (Б2). Эти способы применяют для изготовления глубоких полых сосудов, т.к. в этом случае по сравнению с обратным выдавливанием значительно снижаются удельные силы деформирования [7].

Способ получения полых деталей из сплошной заготовки в результате радиального течения, сменяющегося по ходу прямым течением деформируемого металла (схемы Б3 и Б4), по видимому, впервые приведен в трудах ЭНИКМАШа [8]. Процесс деформирования по этой схеме, названный комбинированным последовательным радиально-прямым выдавливанием с раздачей, относится к процессам с развитым радиальным течением металла. Реализация данного способа выдавливания позволяет снизить усилие деформирования как за счёт уменьшения площади контакта активного деформирующего инструмента с заготовкой, так и за счёт разноимённой схемы напряжённо-деформированного состояния [8, 9].

Способы радиально-прямого выдавливания из группы В отличаются тем, что в них радиальное выдавливание металла производится в направлении от периферии к центру. Поэтому их следует называть способами последовательного радиально-прямого выдавливания с обжатием [4, 10]. В зависимости от используемого инструмента, способа направления металла на этапе прямого течения и, соответственно степени свободы истечения различают несколько схем выдавливания (схемы В1 и В2). Для схемы В3 характерно использование конической оправки, способной к возвратно-поступательному перемещению, что необходимо для получения деталей с переменной толщиной стенки. При профилировании оправки (схема В4) можно изготавливать детали с оребренной внутренней поверхностью.

Методы исследования

Для получения информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) материала заготовки использованы методы компьютерного моделирования и экспериментального исследования. Для исследования деформированного состояния применяли метод координатных сеток. Параметры деформированного состояния определяются из сопоставления конечной формы и размеров ячейки делительной сетки с её исходной формой и исходными размерами. При этом были использованы составные заготовки из алюминиевого сплава АД31 с нанесённой координатной сеткой с базой 1 мм и свинца С1 – с базой сетки 2 мм (рис. 1, а, б). После сканирования деформированной сетки и обработки изображения с помощью программы «Grafula» были определены координаты узлов

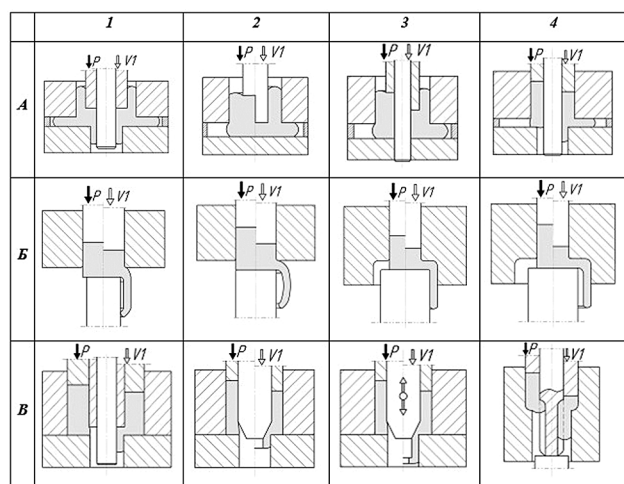


Рис. 1.

ячеек сетки. Полученные данные использовались для определения приращения компонент деформации по методике И. П. Ренне [7], что позволило получить количественную оценку поэтапного изменения деформированного состояния на каждом из последовательных этапов выдавливания.

Альтернативой экспериментальному исследованию является использование имитационного моделирования процессов объёмной штамповки с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Для имитационного моделирования методом конечных элементов использовался программный продукт QForm 2D. Программа является эффективным инструментом для компьютерных экспериментов с технологическим процессом — значительно более оперативных, чем натурные эксперименты [11]. При решении задач комбинированного радиально-обратного выдавливания использовались следующие условия: упрочнение алюминиевого сплава АД31 описано кривой упрочнения $\sigma_s = 191.55 \times e^{0.202}$ МПа при скорости деформирования $0,25 \text{ с}^{-1}$, плотность материала 2800 кг/м^3 ; модуль Юнга 71000 МПа ; коэффициент Пуассона $0,3$; коэффи-

циент трения по А. Н. Леванову $\mu_s = 0,16$; скорость перемещения инструмента 1 мм/с ; инструмент абсолютно жесткий. МКЭ позволил получить картины формоизменения заготовки, искажения делительной сетки, поля распределений интенсивности деформации и интенсивности напряжений в заготовке на этапах выдавливания.

Результаты исследования

Радиально-обратное совмещенное выдавливание в первую очередь может быть использовано для получения полых деталей типа стакана с фланцем, расположенным у основания. Это позволяет снизить давление деформирования за счет увеличения степени свободы истечения металла и благоприятной для силового режима процесса разноименной схемы НДС в зоне формируемого фланца [5]. Кроме того, технология комбинированного выдавливания, сочетающая несколько простых способов выдавливания представляется более производительной. Преимуществом комбинированного деформирования детали является и то обстоятель-

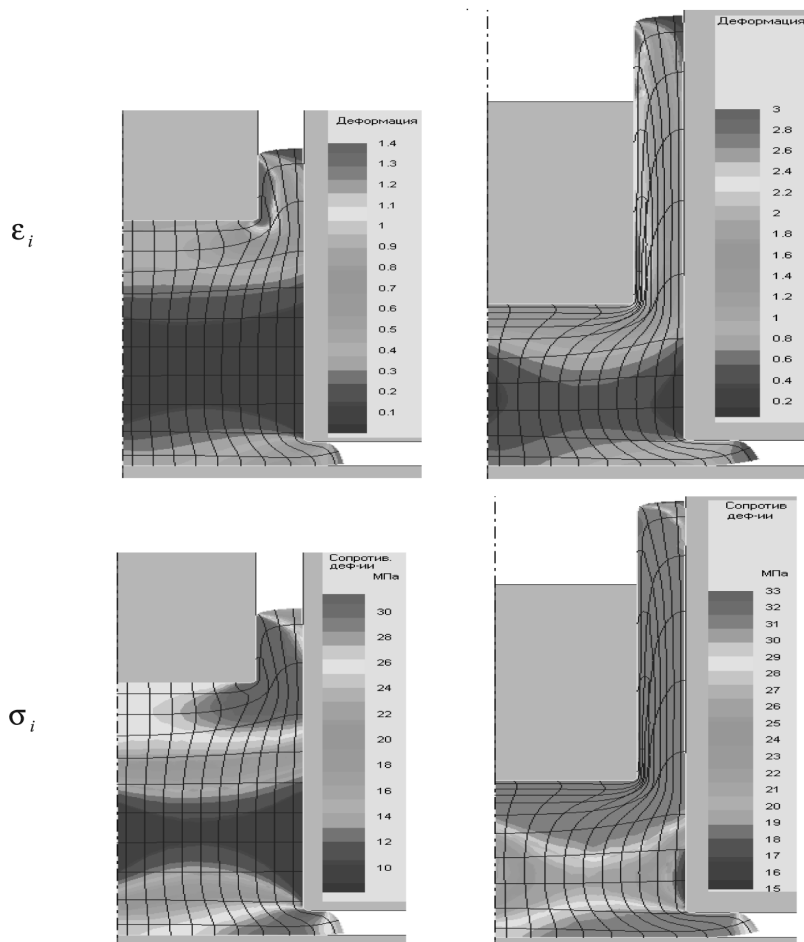


Рис. 2. Картина поэтапного распределения интенсивности деформаций и интенсивности напряжений, полученная на основе программы Qform 3D

ство, что обработка ее элементов осуществляется в одной и той же матрице, что способствует обеспечению высокой точности размеров и качества поверхности.

Анализ деформированного состояния заготовки показал, что развитие деформации в этом случае происходит без затруднений, обусловленных возникновением застойных зон и зон интенсивных сдвигов. Очаги деформаций (ОД) выдавливания в радиальном и обратном направлении разделены с самого начала процесса и остаются автономными до заключительной стадии. В таком процессе ОД радиального и обратного истечения разнесены друг от друга, что благоприятно для формоизменения и препятствует возникновению поверхностей с высоким градиентом деформаций и интенсивными сдвигами (являющимися «предвестниками» трещин).

Истечение металла в зазор между пуансоном и матрицей и во фланцевую полость осуществляется из этих двух очагов деформации, высоты которых практически не изменяются по ходу процесса. Между ними располагается промежуточная «жесткая» зона, материал в которой деформируется незначительно. При дальнейшем деформировании наступает момент полного вырождения промежуточной зоны и объединения верхнего и нижнего очагов деформации. Можно отметить, что наибольшее искажение делительной сетки характерно для участка, расположенного под пуансоном и между пуансоном и матрицей в формируемой стенке стакана. Элементы сетки, примыкающие к стенке матрицы, претерпевают сжатие в радиальном направлении, т.е. вытягиваются вверх. Картина распределения деформаций, полученных экспериментальным путем, также подтверждает факт наличия промежуточной жесткой зоны и наличие разьединенного очага деформации в ходе данного процесса деформирования (рис. 3). Наиболее интенсивной деформации подвергается участок, находящийся непосредственно под пуансоном и захватывающий зазор между ним и матрицей.

В целом картины распределения интенсивности деформаций ϵ_p , полученные на основе программы Qform 3D аналогичны картине распределения интенсивности напряжений σ , и экспериментально наблюдаемым полям деформаций. Это позволило сделать вывод о том, что при анализе процесса выдавливания расчет параметров НДС МКЭ дает не только качественную, но и количественную картину распределения интенсивности деформаций.

Условия трения на опорной поверхности нижней полуматрицы оказывают значительное влияние на образование дефектов формы фланца, таких как изгиб края и овальность фланца, а также на разрушение периферии фланца. При увеличении трения фланец изгибается меньше и вероятность разрушения фланца также снижается. Предельные значения диаметра получаемого фланца не превышают 2,2–2,5 диаметра исходной заготовки. Фланцы большего диаметра требуют введения дополнительного приема высадки фланца, которое может быть осуществлено на заключительной стадии процесса. При формировании полости стакана в переходной к фланцу зоне на внутренней поверхности детали образуются утяжины в виде прострелов (см. рис. 3). Получение полых деталей с фланцами расположенными в средней части стакана также сопровождается появлением подобных утяжин. Интересной особенностью процесса оказалась возможность четкого оформления фасонного фланца без значительного возрастания давлений (что характерно для радиального выдавливания) при наличии «отдушины» в виде возможности истечения в стенку стакана.

При исследовании процесса совмещенного радиально-прямого выдавливания было установлено, что картины искажения делительной сетки, полученные в программе QForm 2D, хорошо согласуются с характером реального течения металла (рис. 4, а). Анализируя зависимость положения границы (поверхности) раздела течения от параметров процесса, следует отметить, что процесс сопровож-

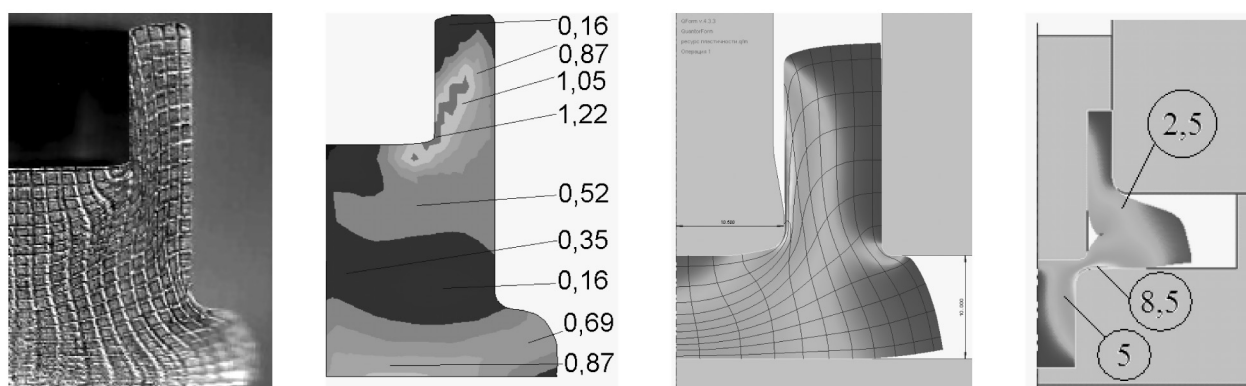


Рис. 3. Искажение делительной сетки и поля интенсивности деформаций при радиально-обратном выдавливании детали «стакан с фланцем»

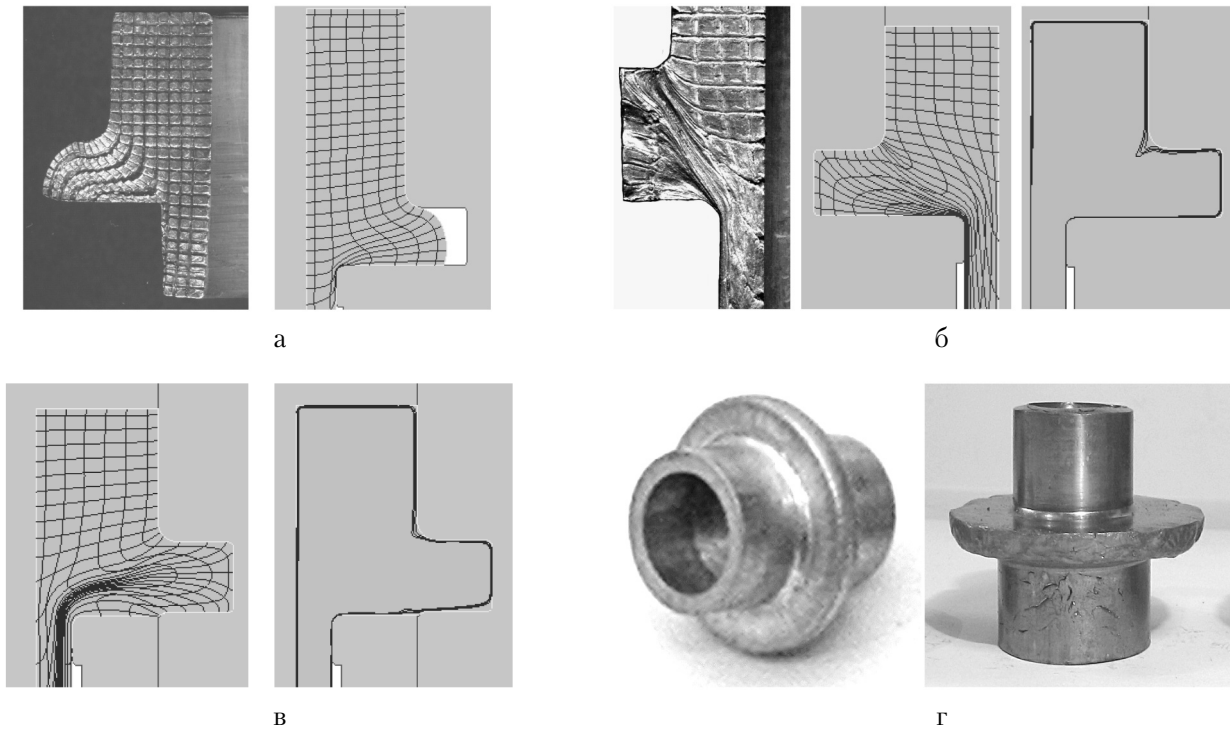


Рис. 4. Искажения делительной сетки, полученные экспериментально и КЭ-моделированием (а–в) и детали, полученные совмещенным радиально-прямым выдавливанием (г)

дается сдвигом по этой границе и скорость прямого истечения стремиться к скорости деформирования [6]. Это сопровождается опасностью появления трещин на границах сдвига металла относительно уже формообразованной части детали, которая становится застойной зоной. Чаще всего опасной зоной выступает зона фланца (бокового отростка), который был образован поперечным выдавливанием на начальной стадии процесса. Течение металла с интенсивным сдвигом вдоль границы с застойной зоной может привести к образованию трещин и отделению фланца от изделия (рис. 4, б). В программе QForm поверхностные линии – это средство диагностики внутренних и поверхностных дефектов в заготовках при штамповке. Если эти линии проникают внутрь заготовки – это указывает на опасность возникновения дефекта (см. рис. 4, б). К таким дефектам относятся различного рода утяжины и прострелы, предшествующие разрушению деталей.

Вышеизложенное накладывает ряд ограничений на применимость данного способа получения деталей с фланцем (рис. 7) по рассмотренной схеме деформирования, по которой в неподвижной матрице совмещаются прямое и радиальное выдавливание.

Для расширения диапазона размеров, повысить сложности получаемых деталей и улучшения качества штампуемых деталей предложен способ комбинированного выдавливания в подвижной матри-

це [12]. По данному способу за счет разделения ОД выдавливания в прямом и поперечном направлениях из отдельных зон заготовки возможно перемещение значительного объема металла как в поперечную полость матрицы (для фланцев или отростков), так и в прямом направлении. Это обусловлено тем, что в условиях раздельного течения ввиду устранения большого градиента деформации и интенсивного сдвига между отдельными зонами ОД при выдавливании исключено скалывание на границе между фланцем и телом полуфабриката (рис. 6, в и г).

Способы последовательного радиально-прямого выдавливания предназначены для изготовления деталей типа гильз и трубчатых изделий. Способы выдавливания с раздачей используются и при изготовлении конических стаканов [4, 9]. Производилась оценка деформированного состояния в процессе деформаций с помощью программы Qform 2D. МКЭ позволил получить картины распределения интенсивностей деформации в деформируемой заготовке из алюминиевого сплава АД31 в процессе радиально-прямого выдавливания.

Картина деформированной делительной сетки достаточно точно описали реальное течение металла в процессе деформации (см. рис. 5, а). В центральной области заготовки очаг деформации имеет вогнутую граничную поверхность. Наибольшей деформации подвержены слои металла, примыкающие ко дну полых деталей. Большие значения интен-

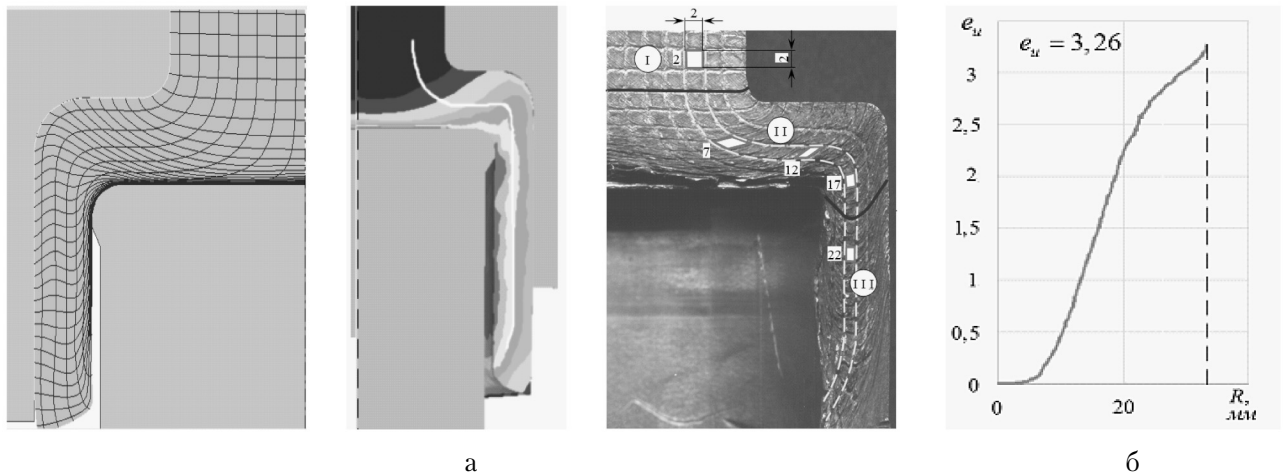


Рис. 5. Деформированное состояние при радиально-прямом выдавливании с раздачей (а) и накопленная деформация (б)

сивности деформации сосредоточены в слое материала заготовки вблизи внутреннего радиуса стакана, а меньшие – в слое вблизи внешнего радиуса. Произведена оценка данных, полученных в ходе эксперимента и математической модели, основанной на МКЭ и построен график зависимости приращения деформаций частицей металла при перемещении её через ОД в зависимости от координаты R (рис. 5, а, б). Накопленная степень деформации вдоль линии тока при КЭ-моделировании составила 3.26, а по методу сеток – 3.22.

На рис. 6 представлены пустотелые изделия из алюминиевого сплава АД31 и меди М1, полученные радиально-прямым выдавливанием с раздачей. Возможности радиально-прямого выдавливания не ограничены получением только осесимметричных изделий в виде стакана с постоянной толщиной стенки по высоте полости, с симметрично расположенным внешним, внутренним осевым отростком или без него [13]. Применение матриц с эксцентрично расположенными формоизменяющими полостями позволяет выдавливать пустотелые

изделия с асимметрично расположенным внешним осевым отростком.

Использование подвижного инструмента в виде втулки внутри рабочей полости матрицы позволяет уменьшить диаметры внутренней и наружной поверхностей стакана у его верхней части без изменения толщины стенки. Способ позволяет также изготавливать сложнопрофилированные стаканы с переменной и постоянной толщиной стенки по высоте. Сложный профиль на наружной поверхности стакана при неизменном диаметре внутренней поверхности можно получить за счёт осевого перемещения верхней внешней ступенчатой полуматрицы и верхней внутренней полуматрицы. Ступенчатый профиль на внутренней поверхности стакана при неизменном диаметре наружной поверхности можно получить за счёт осевого перемещения нижней наружной полуматрицы и изменения высоты радиальной полости. Полученные полые изделия имеют цилиндрическую внешнюю и внутреннюю боковые поверхности с одной или двумя ступеньками на внутренней боковой поверх-

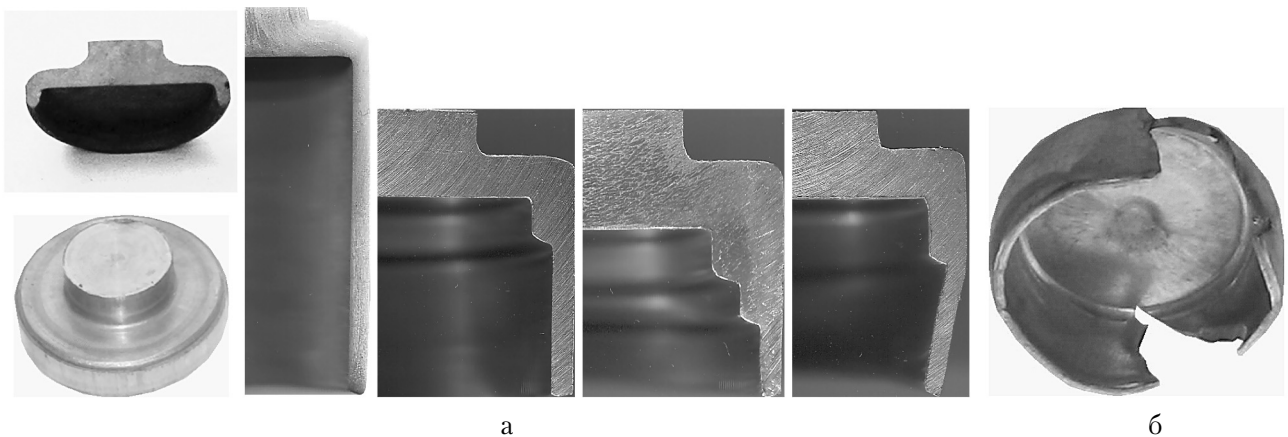
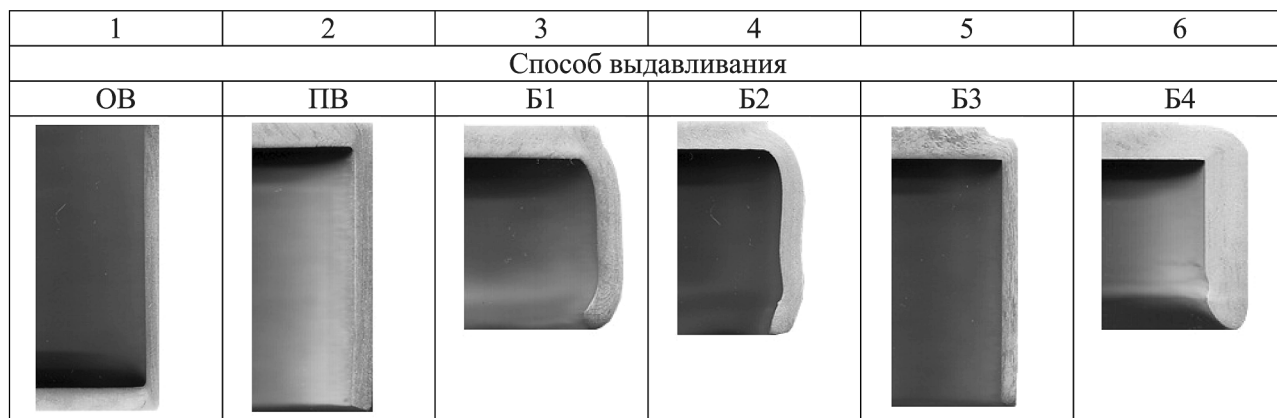
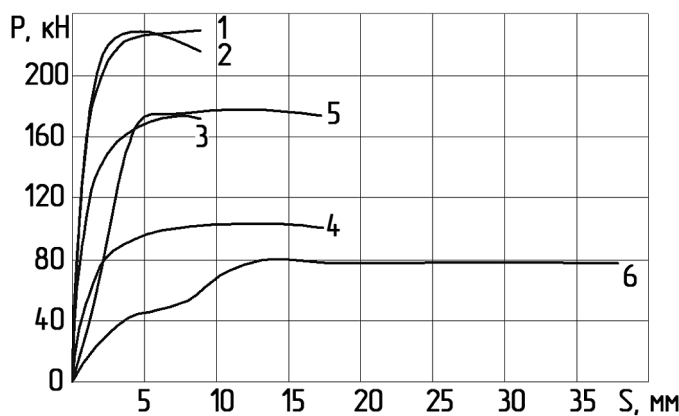


Рис. 6. Детали, выдавленные радиально-прямым выдавливанием с раздачей (а) и характерные дефекты (б)



а



б

Рис. 7. Детали (а) и графики сил выдавливания (б), соответствующие способам выдавливания

ности; коническую внутреннюю и внешнюю боковые поверхности; коническую внутреннюю и внешнюю боковые поверхности в сочетании с цилиндрическими поверхностями; коническую внутреннюю и внешнюю боковые поверхности со ступенькой на внутренней поверхности. Наличие вначале процесса комбинированного выдавливания радиального течения, для которого характерно преобладание окружных растягивающих напряжений, приводит к снижению пластичности материала заготовки, может быть причиной появления трещин на боковой поверхности получаемого фланца и разрушения изделия в целом (как показано на рис. 6, б).

Для сопоставления сил холодного выдавливания полых детали по различным способам деформирования были проведены эксперименты с применением отожжённых цилиндрических заготовок из алюминиевого сплава АД1 высотой от 12 до 45 мм с диаметрами 15,0 мм, 21,0 мм и 28,0 мм. Высота заготовок подбиралась из расчёта равенства их объёмов. В качестве смазки были использовали животный жир. Экспериментальные исследования проводились на испытательной машине МС-2000. Для исследования макроструктуры полученные в процессе выдавливания полые детали разрезались

вдоль оси и после предварительной подготовки меридиональные поверхности половинок деталей протравливались в 5% растворе NaOH при температуре 70°C.

Номер кривой на графике зависимости усилия деформирования от хода ползуна для различных способов холодного выдавливания (см. рис. 7) соответствует номеру детали и схеме выдавливания по которой эта деталь получена. Приведены также соответствующие способы выдавливания Б1–Б4 (по классификации на рис. 1). Так, деталь 1 была получена обратным выдавливанием (ОВ), 2 – прямым выдавливанием (ПВ), 3 – свободным (безматричным) выдавливанием (способ Б1 на рис. 1) и т.д. Как видно из графика, наибольшее усилие деформирования фиксировалось для схем обратного и прямого выдавливания (кривые 1 и 2). Усилие деформирования по ходу процесса для этих схем отличается незначительно. Выдавливание безматричное (кривая 3) позволяет снизить усилие деформирования на 22% по сравнению с обратным выдавливанием.

Радиально-прямое выдавливание полых детали из заготовки Ø 15 мм позволяет снизить усилие в 2,4 раза по сравнению с обратным выдавливанием

(кривая 1), а из заготовки $\varnothing 21$ мм – на 21% (кривая 5). То есть, увеличение площади поперечного сечения заготовки приблизительно в 2 раза с $176,6 \text{ мм}^2$ (диаметр заготовки 15 мм) до $346,3 \text{ мм}^2$ (диаметр заготовки 21 мм) приводит к увеличению усилия деформирования для схемы радиально-прямого выдавливания также приблизительно в 2 раза.

Свободное радиально-прямое выдавливание (кривая 4) заготовок из алюминиевого сплава по сравнению с радиально-прямым выдавливанием из заготовки диаметром $\varnothing 21$ мм (кривая 5) позволяет уменьшить усилие формоизменения на 41%, а по сравнению с радиально-прямым выдавливанием из заготовки $\varnothing 15$ мм приводит к росту усилия деформирования на 11%. Отметим, что схема 4 со свободным радиально-прямым выдавливанием аналогична схеме 3 получения детали, разница в истечении металла через боковую поверхность заготовки.

Изготовление полых деталей по схеме 6 со свободным разворотом течения с радиального на прямое позволяет снизить усилие деформирования на 17% (кривая 6) по сравнению с радиально-прямым выдавливанием (кривая 5). Свободное формоизменение заготовок при изготовлении полуфабрикатов по схемам 3, 6, 4 может быть рекомендовано как первый этап изготовления полых деталей типа глубоких гильз, который позволяет существенно снизить силы деформирования по сравнению, соответственно, с обратным выдавливанием и радиально-прямым выдавливанием. В то же время, эти схемы не позволяют получить требуемые форму и размеры деталей. Поэтому далее, на втором этапе, эти полуфабрикаты для получения точных конечных размеров подвергаются калибровке, вытяжке с утонением или протяжке на оправке.

Последовательное радиально-прямое выдавливание с обжатием может быть интересным способом для изготовления трубчатых сложнопрофили-

рованных деталей с фасонной полостью или с переменной толщиной стенки. За счет центростремительного радиального течения схема НДС в ОД более благоприятна для деформируемости металла. Результаты анализа, выполненные МКЭ и методом делительных сеток и приведенные на рис. 8, а и б позволили изучить картину развития и распределения деформаций при радиально-прямом выдавливании с обжатием на оправке.

При изучении распределения логарифмических деформаций установлено, что максимальная степень деформации сосредотачивается в нижней переходной части заготовки, где металл заготовки соприкасается с опорной поверхностью матрицы. Причем по ходу процесса происходит снижение по высоте области больших деформаций, что свидетельствует о движении очага деформации вниз (рис. 8). Также можно заметить, что существует небольшая застойная зона по высотной деформации, которая сосредоточена в угловой зоне, в непосредственной близости от матрицы.

Результаты исследований деформированного состояния методом сеток позволили уточнить представления о форме и размерах очага деформации и выявить зоны с максимальной степенью деформации, прилегающие к переходной кромке матрицы.

Способом радиально-прямого выдавливания с обжатием можно изготовить полые детали с переменной толщиной стенки с практически любым набором утолщений по высоте детали, с любым их взаимным расположением и величиной утолщений которая лимитируется лишь исходной заготовкой и инструментом. Некоторые из типов деталей, которые возможно получать способом радиально-прямого выдавливания на плавающей оправке представлены на рис. 8, г.

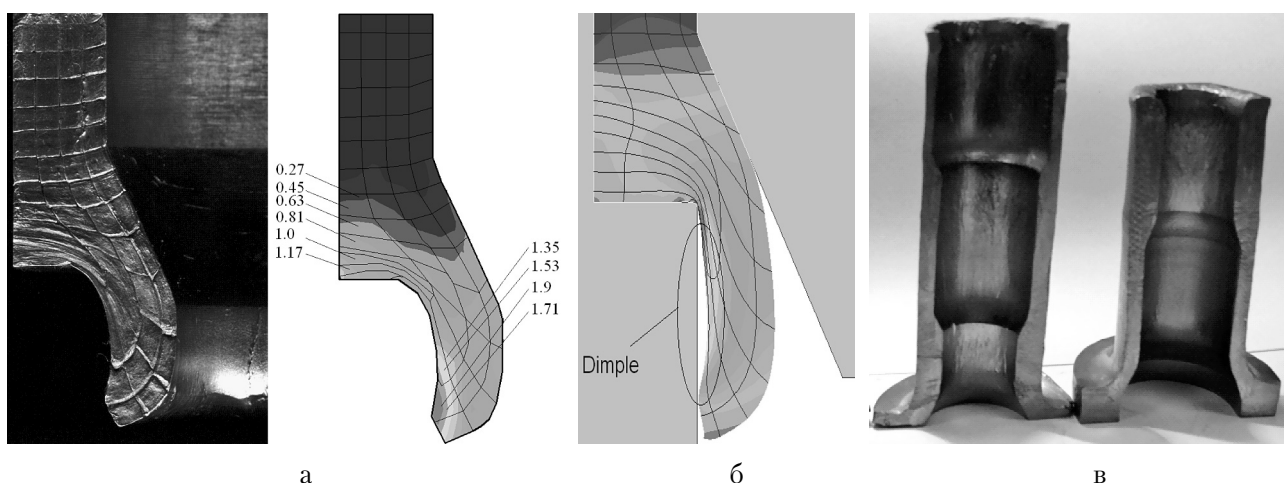


Рис. 8. Деформированное состояние (а), характерные дефекты (б) при радиально-прямом выдавливании с обжатием и полученные детали (в)

Выводы

Представлены разновидности и оценены технологические возможности способов комбинированного радиально-продольного выдавливания полых деталей и деталей с фланцем. Приведены схемы, позволяющие изготовить полые детали со сложным профилем.

Моделированием методом конечных элементов и экспериментальным методом делительных сеток получены картины распределения деформаций при штамповке способами совмещенного и последовательного комбинированного радиально-прямого и радиально-обратного выдавливания. При радиально-обратном выдавливании экспериментально подтверждено наличие разьединённого очага деформации на начальном этапе деформирования. Результаты исследований деформированного состояния позволили уточнить представления о форме и размерах очага деформации и выявить зоны максимальной деформации и опасные зоны со сдвиговыми деформациями.

Сопоставление энергосиловых параметров процесса с традиционными способами продольного выдавливания полых деталей типа стаканов подтверждает преимущества новых способов радиально-прямого выдавливания с раздачей.

Определены характерные особенности деформирования и причины разрушения деталей, которые влияют на технологические возможности способов комбинированного выдавливания.

Литература

- [1] Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 144 с.
- [2] Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 2. – С. 7–9.
- [3] Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А. Г. Овчинников. – М. : Машиностроение, 1983. – 200 с.
- [4] Алиева Л. И. Процессы комбинированного деформирования и выдавливания / Л. И. Алиева // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 100–108.
- [5] Aliieva L. Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhabankov // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa : Quick-druk, 2012. – P. 389–396.
- [6] Алиева Л. И. Комбинированное радиально-прямое выдавливание деталей с фланцем / Л. И. Алиева // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии» 23–24 октября 2015 года. – Темиртау, 2015. – С. 377–382.
- [7] Пат. 8620 Украина В21К21/00. Способ выдавливания деталей со сложным профилем / Л. И. Алиева, Р. С. Борисов; № 200500452; заявл. 17.01.2005; опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.
- [8] Ренне И. П. Технологические возможности процесса свободного выдавливания (без матрицы) полых деталей / И. П. Ренне, А. И. Сумарокова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 6. – С. 25–26.
- [9] Горячая штамповка стальных поковок в разъемных матрицах / А. В. Кузнецов, О. В. Протопопов, В. А. Блудов, А. А. Коноплин. – М. : НИИМАШ, 1968. – 80 с.
- [10] Евстифеев В. В. Методика построения геометрии инструмента при выдавливании конических стаканов / В. В. Евстифеев, Г. П. Подколзин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1978. – № 3. – С. 11–13.
- [11] Алиева Л. И. Технологические возможности процессов выдавливания с раздачей / Л. И. Алиева, О. В. Чучин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Международной научно-технической конференции. – Старый Оскол : СТИ НИТУ «МИСиС», 2015. – С. 148–153.
- [12] Алиева Л. И. Методы снижения сил деформирования при выдавливании / Л. И. Алиева, О. В. Чучин, П. В. Гнездилов // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2016. – № 4(55). – С. 82–87.
- [13] Alieva Leila Radial-direct extrusion with a movable mandrel / Leila Alieva, Yaroslav Zhabankov // Metallurgical and Mining Industry. «International scientific conference «RELIABILITY SAFETY TECHNOLOGICAL EQUIPMENT» RSTE-2015». – Dnepropetrovsk, 2015. – № 11. – P. 175–183.
- [14] Cold Forging of Hollow Cylindrical Components Having an Intermediate Flange – Ubet Analysis and Experiment / H. Kudo, B. Avitzur, T. Yoshikai, J. Luksza a.o. // CIRP Annalen. – 1980. – 29, N 1. – P. 129–133.
- [15] Алиева Л. И. Особенности проектирования процессов холодного выдавливания на основе развития модульного подхода в рамках энергетического метода / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 24(1133) 2015. – С. 21–32.

Aliieva L. I.

Donbass State Engineering Academy. Ukraine, Kramatorsk

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF COMBINED RADIAL-FORWARD EXTRUSION PROCESSES

In this paper technological processes for producing hollow parts and the flange parts by methods of combined radial-forward extrusion are considered. The variety of the technological possibilities and evaluating technology for combined radial-forward extrusion process are defined. The schemes that allow for producing hollow parts with a complex profile are determined. The results of strain distribution by simulation of finite element method and experimental method of meshing for complex and consistent process of combined radial-forward extrusion and combined radial-backward extrusion are defined. The comparisons of energy-power parameters in processes by conventional methods of forward extrusion confirm the benefits of new technologies. The characteristics of the deformation that influence the technological possibilities for researching extrusion method are determined.

Keywords: radial-forward extrusion; hollow parts; flanges; finite element method meshing method; strain state; deforming force.

References

- [1] Evstratov V. A. Osnovy tehnologii vydavlivaniya i konstruirovaniya shtampov / V. A. Evstratov. – Har'kov : Vishha shkola. Izd-vo pri Har'k. un-te, 1987. – 144 s.
- [2] Aliev I. S. Tehnologicheskie vozmozhnosti novyh sposobov kombinirovannogo vydavlivaniya / I. S. Aliev // Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo. – 1990. – № 2. – S. 7–9.
- [3] Ovchinnikov A. G. Osnovy teorii shtampovki vydavlivaniem na pressah / A. G. Ovchinnikov. – M. : Mashinostroenie, 1983. – 200 s.
- [4] Aliieva L. I. Processy kombinirovannogo deformirovaniya i vydavlivaniya / L. I. Aliieva // Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2016. – № 1(42). – S. 100–108.
- [5] Aliieva L. Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbakov // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa : Quickdruk, 2012. – P. 389–396.
- [6] Aliieva L. I. Kombinirovannoe radial'no-prjamoje vydavlivanie detalej s flancem / L. I. Aliieva // Trudy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchno-tehnicheskij progress v metallurgii» 23–24 oktjabrja 2015 goda. – Temirtau, 2015. – S. 377–382.
- [7] Pat. 8620 Ukraina V21K21/00. Sposob vydavlivaniya detalej so slozhnym profilem / L. I. Aliieva, R. S. Borisov; № 200500452; zajavl. 17.01.2005; opubl. 15.08.2005, Bjul. № 8.
- [8] Renne I. P. Tehnologicheskie vozmozhnosti processa svobodnogo vydavlivaniya (bez matricy) polyh detalej / I. P. Renne, A. I. Sumarokova // Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo. – 1987. – № 6. – S. 25–26.
- [9] Gorjachaja shtampovka stal'nyh pokovok v razjomnyh matricah / A. V. Kuznecov, O. V. Protopopov, V. A. Bludov, A. A. Konoplin. – M. : NIIMASH, 1968. – 80 s.
- [10] Evstifeev V. V. Metodika postroenija geometrii instrumenta pri vydavlivanii konicheskikh stakanov / V. V. Evstifeev, G. P. Podkolzin // Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo. – 1978. – № 3. – S. 11–13.
- [11] Aliieva L. I. Tehnologicheskie vozmozhnosti processov vydavlivaniya s razdachej / L. I. Aliieva, O. V. Chuchin // Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Staryj Oskol : STI NITU «MISiS», 2015. – S. 148–153.
- [12] Aliieva L. I. Metody snizhenija sil deformirovaniya pri vydavlivanii / L. I. Aliieva, O. V. Chuchin, P. V. Gnezdilov // Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehnicheskogo universiteta. – Herson, 2016. – № 4(55). – S. 82–87.
- [13] Aliieva Leila Radial-direct extrusion with a movable mandrel / Leila Aliieva, Yaroslav Zhbakov // Metallurgical and Mining Industry. «International scientific conference «RELIABILITY SAFETY TECHNOLOGIC EQUIPMENT» RSTE–2015». – Dnepropetrovsk, 2015. – № 11. – P. 175–183.
- [14] Cold Forging of Hollow Cylindrical Components Having an Intermediate Flange – Ubet Analysis and Experiment / H. Kudo, B. Avitzur, T. Yoshikai, J. Luksza a.o. // CIRP Annalen. – 1980. – 29, N 1. – P. 129–133.
- [15] Aliieva L. I. Osobennosti proektirovaniya processov holodnogo vydavlivaniya na osnove razvitija modul'nogo podhoda v ramkah jenergeticheskogo metoda / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Visnik Nacional'nogo tehnicheskogo universiteta «KhPI» – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – № 24(1133) 2015. – S. 21–32.