

УДК 621.777.01

Алиева Л. И.

## НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ХОЛОДНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ

Технология точной объемной штамповки выдавливанием является эффективным ресурсосберегающим методом получения осесимметричных полых и сплошных деталей с фланцами и утолщениями [1–3]. В дополнение к традиционным и распространенным в промышленности способам продольного (прямого и обратного) выдавливания все большее применение находят и новые способы поперечного (радиального и бокового), а также комбинированного поперечно- продольного выдавливания, для которых характерно истечение металла в поперечном направлении и заполнение поперечной (радиальной или канальной) полости разъемной матрицы [1, 4].

При холодном объемном деформировании задача получения качественной продукции требует обеспечения максимально возможной равномерности деформации заготовки при одновременной значительной проработке структуры, измельчении зерна и изотропного (по возможности) упрочнения металла [3–5].

Неравномерность течения металла и соответственно деформированного состояния полученных деталей, которые характерны процессам формообразования методами холодной объемной штамповки, вызывают отклонения формы деталей в виде незаполнений, утяжин, складок и зажимов металла [3, 4, 6–8]. У фланцев и отростков, которые получают поперечным выдавливанием, имеются характерные отклонения формы (грибовидность, клиновидность и др.), обусловленные особенностями течения металла в поперечном направлении [4, 6, 8].

Вопросам формирования структуры деформированного металла и соответственно эксплуатационных свойств изделий, полученных путем обработки давлением, в современном машиностроении уделяется повышенное внимание. Для управления видом деформаций и результатом обработки при холодном выдавливании используется широкий набор способов комбинированного, в том числе, силового и кинематического воздействия на обрабатываемую заготовку [2–4, 6–9].

Одним из способов устранения дефектов выдавливаемых деталей является использование возможностей управляемого выдавливания, основанного на реализации кинематических вариантов выдавливания [4, 7]. Поэтому поиск и исследование способов, обеспечивающих снижение неравномерности деформаций и получение выдавливанием качественных деталей, является актуальной задачей.

Целью работы является анализ деформированного состояния и разработка технологических приёмов, направленных на снижение неравномерности деформаций и дефектов штампуемых деталей.

Неравномерность распределения деформаций в пластически деформированной заготовке может вызвать не только упомянутые отклонения формы деталей, но и нежелательное исчерпание ресурса пластичности и разрушение заготовки в процессе деформирования. Оценка степени деформации с учетом реального пути деформирования, пройденного материалом, позволяет точно определить предельную степень деформирования и степень расхода ресурса пластичности материала в опасных зонах заготовки. Как известно, существует предельное значение степени использованного запаса пластичности, превышение которого приводит к резкому ухудшению механических свойств материала. Оценка деформированного состояния, оказывающего определяющее влияние на качество формообразования штампуемой детали, необходима также для выяснения остаточной пластичности полученной детали с требуемыми физико-механическими свойствами и возможности выполнения последующих операций холодного деформирования [4, 5, 9].

Анализ деформированного состояния в процессе выдавливания оперативно можно проводить с использованием метода верхней оценки. Принимая допущение о плоско-деформированном состоянии после построения кинематически возможного поля (и годографа)

скоростей (КВПС) из жестких (недеформируемых) кинематических элементов и используя компоненты скоростей деформации, можно определить показатели деформированного состояния [10].

Для расчета приращения сдвиговой деформации на линиях (поверхностях) разрыва скоростей используют выражение, вытекающее из энергетических принципов [10, 11]:

$$\gamma_{ij} = v_{ij} / v_{ij}^n, \quad (1)$$

где  $v_{ij}$ ,  $v_{ij}^n$  – разрыв касательной составляющей и нормальная к линии разрыва составляющая вектора скорости. Эти величины устанавливают по годографу скоростей.

Накопленную (вдоль линии тока) величину сдвиговой деформации и среднюю интенсивность деформации сдвига  $\gamma_{cp}$  определяют после нахождения сумм  $\gamma_{ij}$  для характерных каналов течения, ширина которых должна быть установлена с помощью построения характерных линий тока на годографе скоростей [10].

Интенсивность конечных деформаций рассчитывается по формуле

$$e_c = \gamma_{cp} / \sqrt{3}. \quad (2)$$

Разрывные поля скоростей для случая бокового выдавливания (рис. 1, линии 1–4) независимо от положения и числа кинематических элементов показывают, что наибольшей деформации при поперечном выдавливании подвергаются слои металла, прилегающие к центру выдавливаемого отростка. При выдавливании без конического переходного участка, т.е. непосредственно на выходе из контейнера в боковую полость высотой  $h_2$  (модуля I), коэффициент неравномерности деформации  $K_n = \gamma_{max} / \gamma_{min}$  находится в пределах от 1.7 до 2.3. При этом большие значения соответствуют малым величинам относительной высоты полости  $R_0 / h_2$  ( $R_0 / h_2 = 2.0 \dots 4.0$ ), где  $R_0$  – радиус исходной заготовки. Неравномерность деформации на выходе из модуля I обусловлена тем, что металл в центральных зонах при выдавливании пересекает большее число границ разрыва скоростей (путь деформирования длинее), чем в периферийном канале, где пересекаются лишь две границы [11].

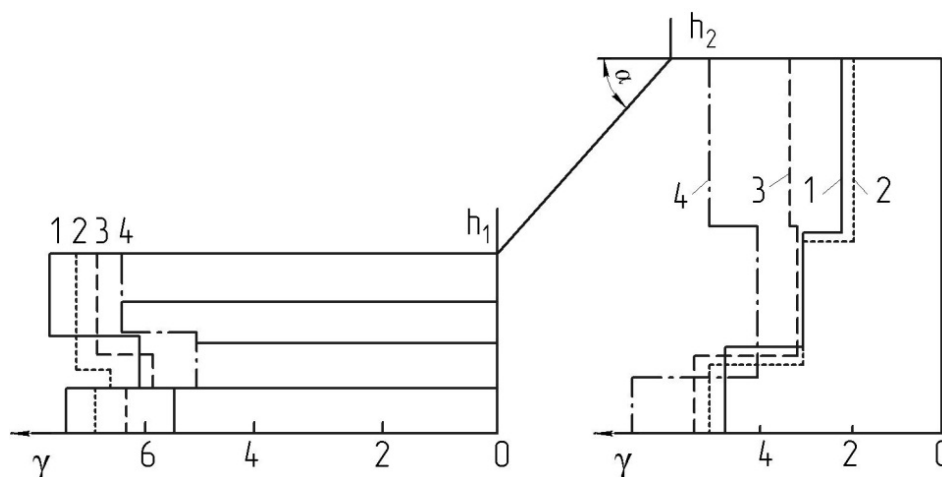


Рис. 1. Снижение неравномерности деформации при боковом выдавливании в конусной матрице

После прохождения металлом конического участка (модуля II) и обжатия по высоте (от  $h_2$  до  $h_1$ ) неравномерность деформации заметно снижается, так как деформация при прохождении участка сопровождается неравномерностью обратного порядка. При обжатии, как при прямом выдавливании, большую интенсивность деформации приобретают периферийные слои. При сложении таких последовательных неравномерностей деформаций получается более равномерная по сечению отработка металла. Коэффициент неравномерности снижается до 1.15 и менее. Способ поперечного выдавливания с обжатием

выдавливаемого отрезка может быть эффективным средством получения высококачественных высококачественных металлоизделий.

При этом для всех поверхностей среза приращение относительной сдвиговой деформации  $\gamma_{ij}^c$  равно удвоенной составляющей приведенного давления  $\Delta\bar{p}_{ij}$ , учитывающей этот срез, т.е.  $\gamma_{ij}^c = 2\Delta\bar{p}_{ij}$  [11].

Суммируя  $\Delta\bar{p}_{ij}$ , можно вывести формулу для приведенного давления. Так, для бокового выдавливания в пределах первого модуля

$$\bar{p} = (R_0/h_2 + h_2/R_0)/2. \quad (3)$$

А расчетное среднее значение интенсивности деформаций:

$$e_c = \gamma_{cp}/\sqrt{3} = 2\bar{p}/\sqrt{3}. \quad (4)$$

Полученная зависимость (4) показывает, что значение интенсивности деформаций, вычисленное по методике Р. Хилла ( $e_m = \bar{p}$ ) и по линиям тока ( $e_m = 1.155\bar{p}$ ) отличаются коэффициентом  $2/\sqrt{3}$ .

Возможность применения рассмотренной методики расчета деформаций через составляющие давлений деформирования была проверена и на иных схемах выдавливания [11]. Таким образом, для расчета накопленной деформации на основе разрывных полей скоростей могут быть использованы составляющие выражений для приведенного давления без необходимости установления нормальных компонент скоростей.

Подбор схем выдавливания в многопереходном процессе или при комбинированном выдавливании, проведенный с учетом характера распределения деформаций, может быть эффективным методом снижения неравномерности деформации заготовки

На рис. 2 схематично показан эффект от суммирования накопленных деформаций при последовательном деформировании на операциях безотходной сквозной прошивки втулки и последующего ее прямого выдавливания. Коэффициент неравномерности при этом снижается ощутимо, так как на первой операции прошивки (обратного выдавливания) наибольшую деформацию претерпевают внутренние слои стенки втулки, а на второй операции – наружные слои. Предложен способ изготовления деталей типа втулок комбинированием сквозной прошивки и последующего прямого выдавливания на оправке, по которому полуфабрикат после прошивки перед прямым выдавливанием кантуют на  $180^\circ$ , что сопровождается также снижением утяжин (скосов) на торцах втулок [12].

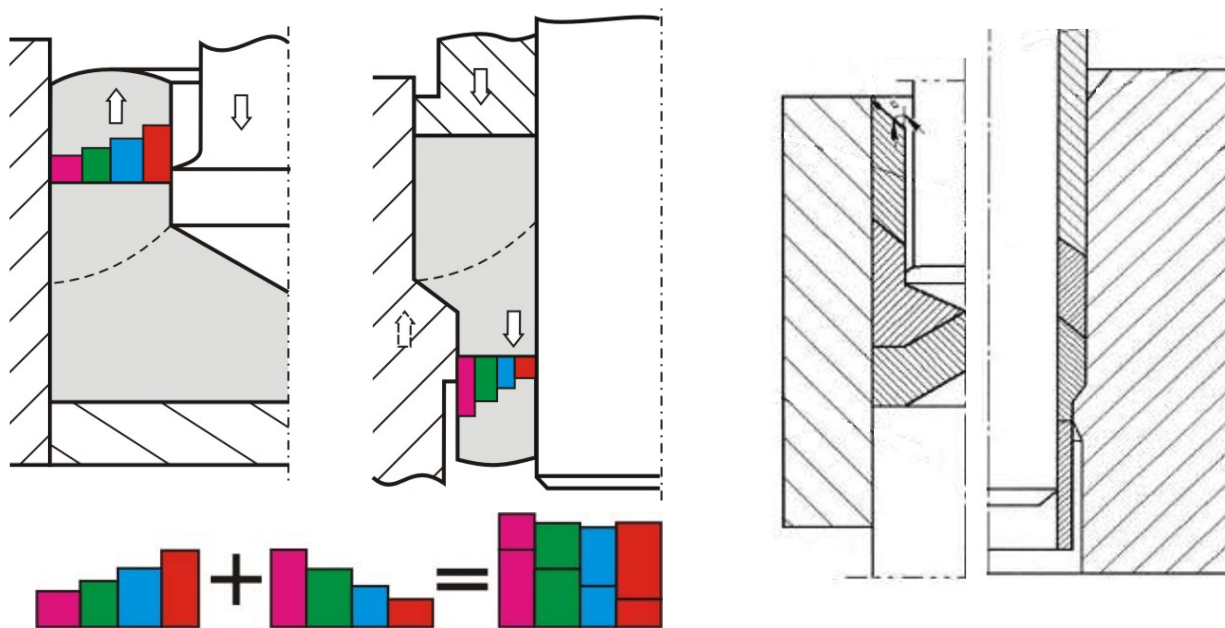


Рис. 2. Сложение неравномерностей деформации при деформировании прошивкой-выдавливанием и способ безотходного получения втулок

Деформированное состояние заготовки в процессах выдавливания деталей с фланцем исследовали методом конечных элементов (МКЭ) и при помощи метода делительной сетки. Результаты исследования деформированного состояния методом сеток позволили уточнить представления о форме и размерах очага деформации, оценить неравномерность распределения деформаций и выявить зоны с максимальной степенью деформации.

При исследовании процесса радиального выдавливания внутренних фланцев полые заготовки имели диаметры  $\varnothing 45,0$  и  $\varnothing 28,0$  и высоту 40 мм. Сетка была нанесена строганием и имела базу 1 мм. Изучение искаженной координатной сетки (рис. 3) на различных стадиях процесса выдавливания показало, что характер течения металла монотонный. На начальном этапе пластическая деформация сосредотачивается в зонах, ограниченных параболическими поверхностями. Находящийся между этими поверхностями объем металла имеет более интенсивную деформацию, а внешние участки заготовки получают незначительную пластическую деформацию или деформируются упруго. С увеличением рабочего хода и при дальнейшем деформировании очаг деформации несколько уменьшается в объеме, хотя и сохраняет очертания, ограниченные параболическими поверхностями. Размер очага интенсивной пластической деформации в плоскости меридионального сечения не превышает по высоте толщины выдавливаемого фланца. При изучении распределения логарифмических деформаций на наружной поверхности детали видно, что максимальная степень деформации сосредотачивается по средней поперечной линии фланца, причем по ходу процесса (приращение хода  $H$  показано на рисунке) происходит некоторое снижение по высоте области больших деформаций, что свидетельствует о движении очага деформации вниз (см. рис. 3, б).

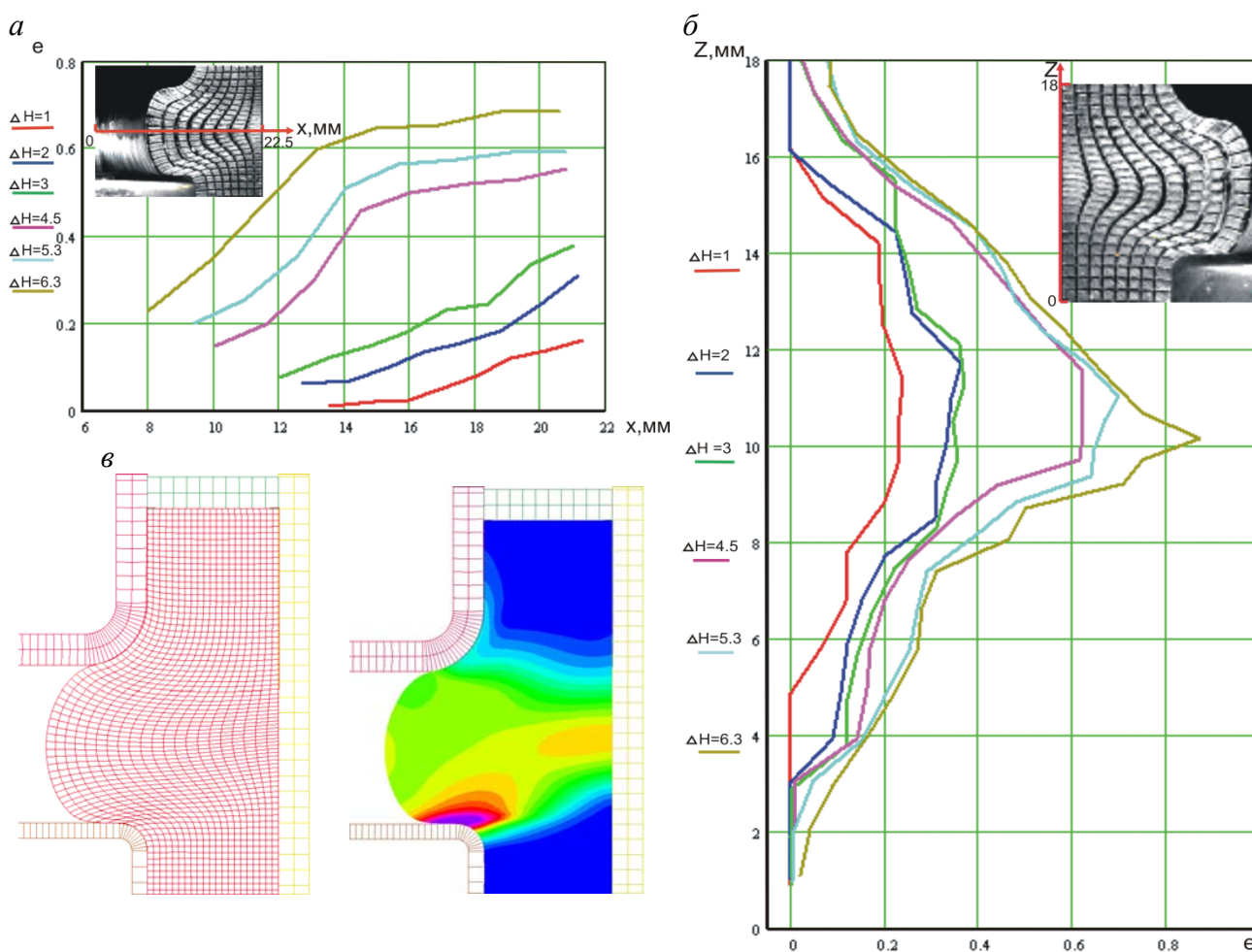


Рис. 3. Поэтапное распределение интенсивности деформаций в горизонтальном сечении (а) и по высоте детали (б); поля деформаций при КЭ-моделировании (в)

Наиболее интенсивно продолжают деформироваться зоны, прилегающие к переходным кромкам матрицы, особенно у закругления нижней полуматрицы, в результате чего происходит заполнение внутренних углов полости штампа (см. рис. 3, в). Установлено, что вследствие односторонней подачи металла в штамп заполнение верхней части формирующей полости происходит позднее, чем нижней, а зона максимальной деформации смещается вниз. Следует отметить, что в случае выдавливания внутренних фланцев, по всей видимости, больших деформаций достичь трудно, т.к. металл течет по направлению к центру и поэтому больших перепадов диаметров фланца не может быть.

Для исследования деформированного состояния заготовки в процессах комбинированного выдавливания полых деталей также применяли метод координатных сеток и МКЭ. На исходные составные полуфабрикаты была нанесена сетка из квадратных ячеек с базой 1–2 мм и в дальнейшем, комбинированным выдавливанием получены изделия с деформированной сеткой (рис. 4).

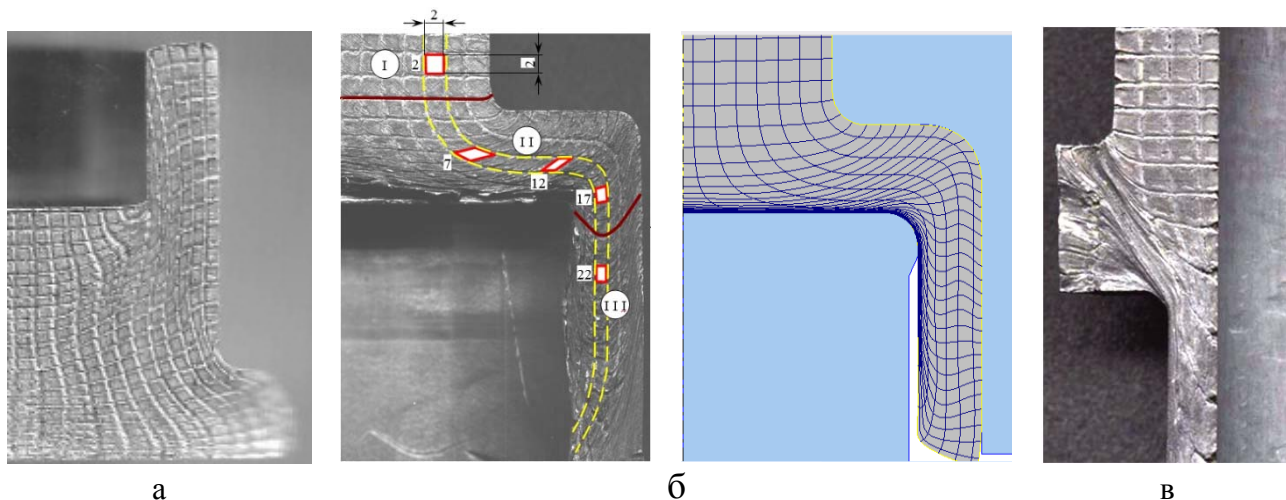


Рис. 4. Картины искажения делительной сетки в процессах выдавливания

При радиально-обратном выдавливании стакана с фланцем (рис. 4, а) автономные очаги деформации обратного и радиального истечения сосредотачиваются у переходных кромок пуансона и матрицы, а между ними располагается жесткая слабodeформированная зона. В стенке стакана неравномерность деформации значительна и наиболее деформированные слои примыкают к внутренней поверхности стакана. В придонной части стакана имеется зона, где металл в тонком слое подвергается сжатию (осадке) в течение всего процесса.

При последовательном радиально-прямом выдавливании [13] горизонтальные и вертикальные линии делительной сетки достаточно точно описывают реальное течение металла в процессе деформации. Экспериментально наблюдаемая картина течения в деформируемом объеме заготовки близка к сетке, полученной конечно-элементным моделированием (см. рис. 4, б). В центральной области заготовки очаг деформации имеет верхнюю коническую граничную поверхность. Наибольшей деформации подвержены слои металла, примыкающие ко дну полых детали. Большие значения интенсивности деформации сосредоточены в слое материала заготовки вблизи внутреннего радиуса стакана, а меньшие – в слоях, расположенных вблизи внешнего радиуса.

При совмещенном радиально-прямом выдавливании (см. рис. 4, в) очаги деформации радиального и прямого истечения примыкают друг к другу. Это обстоятельство может привести к нежелательному высокому градиенту деформации на стыке двух очагов, что вызывает опасность исчерпания ресурса пластичности металла вдоль этой границы с интенсивной сдвиговой деформацией.



Для управления формообразованием деталей с фланцами и утолщениями, получаемых поперечным выдавливанием, используются различные приемы силового и кинематического воздействия на деформируемую заготовку.

Особенностью технологии поперечного радиального выдавливания является возможность активного регулирования деформационных и силовых параметров процесса посредством изменения кинематики движения формообразующего инструмента. На рис. 5 приведены некоторые способы (кинематические варианты) радиального выдавливания [3, 4]. Простейшие кинематические варианты радиального выдавливания (рис. 5, схема 1) осуществляются с односторонней подачей металла в рабочую полость неподвижной матрицы. Выдавливание с совмещенной двухсторонней подачей металла может быть выполнено встречным движением пуансонов или принудительным перемещением матрицы со скоростью, меньшей примерно в 2 раза скорости движения пуансона (схема 2) [4]. По 3-му варианту осуществляется выдавливание с последовательной двухсторонней подачей, обеспечивающей лучшее заполнение радиальной полости.

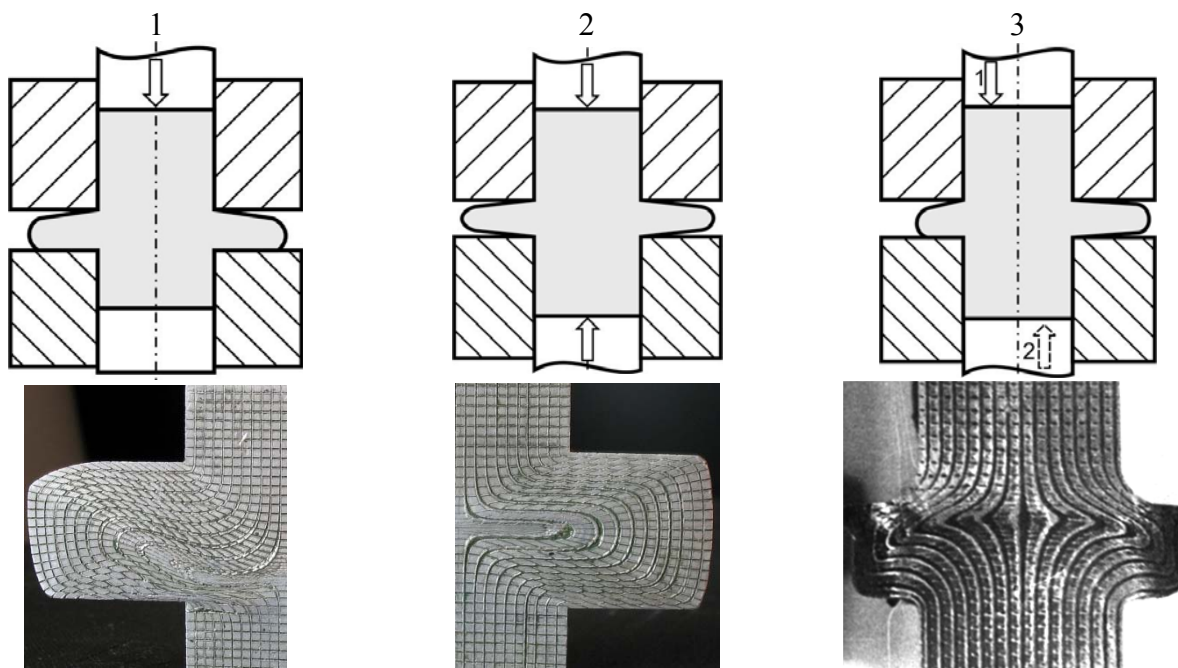


Рис. 5. Схемы деформирования и образцы, полученные односторонним, двусторонним и последовательным двусторонним выдавливанием металла

Разницу в деформированном состоянии деталей, полученных выдавливанием с односторонней подачей металла (одностороннее выдавливание) и двусторонним выдавливанием можно продемонстрировать на примере искажения делительной сетки, нанесенной на заготовку перед поперечным выдавливанием (см. рис. 5). Кинематическая схема подачи металла при поперечном выдавливании оказывает сильное влияние на характер распределения деформаций по высоте очага деформации. При одностороннем поперечном (как боковом, так и радиальном) выдавливании очаг интенсивной деформации имеет несимметричную форму. Зона максимальной деформации и, соответственно, зона максимального упрочнения смещаются к нижней границе очага деформации, на которой происходит резкий скачок степени деформации металла. При двустороннем выдавливании очаг деформации (ОД) располагается в средней части заготовки и симметричен относительно вертикальной и горизонтальной осей заготовки, а полученные фланцы соответственно имеют симметричную клинообразную форму с толщиной у кромки, уменьшающейся по мере увеличения диаметра фланца. Данная схема деформирования более благоприятна с точки зрения качества получаемого изделия и силового режима. Но при двустороннем поперечном выдавливании очаг деформации имеет меньшую высоту и объем, что может быть в ряде

случаев недостатком, так как на переходных нагруженных участках металл может быть недостаточно упрочненным.

При одностороннем выдавливании очаг деформации расположен ниже центральной оси отрезков, хотя по высоте ОД и несколько больше, чем при двустороннем выдавливании. Зона максимальной деформации прилегает к нижней границе ОД. Такая неравномерность распределения деформаций может быть причиной более низких эксплуатационных свойств готового изделия и точная оценка деформированного состояния на переходных к фланцу или отрезку зонах на стадии проектирования технологии представляет большой практический интерес.

Для улучшения эксплуатационных свойств нагруженных изделий необходимо управляемое формирование структуры переходных зон (типа галтелей) с целью исключения образования текстуры или исчерпания ресурса пластичности. Различные сочетания движений и нагрузок пуансонов позволили создать ряд технологических способов, которые регулируют положение зоны максимального упрочнения металла по высоте очага деформации, степень заполнения приемной полости матрицы и форму выдавливаемого фланца [14–16].

На рис. 6 и 7 приведены примеры деталей с характерными разрушениями, полученными при выдавливании с односторонней подачей металла в поперечную полость и схемы соответствующих способов, направленных на предотвращение подобных разрушений. При боковом выдавливании с односторонней подачей (см. рис.5, схема 1) отрезков трещины вдоль нижней границы ОД появляются как при деформировании высокопластичных алюминиевых сплавов, так и при выдавливании в полугорячем состоянии (рис.6, а). Для деталей с утолщениями и фланцами (и отрезками) установлены положительные возможности схем радиального выдавливания с двусторонней и последовательно двусторонней подачей металла заготовки в полость матрицы. Для устранения опасности разрушения детали на переходном к отрезку участке при одновременном обеспечении достаточной прочности предложено дополнять одностороннее выдавливание двусторонним выдавливанием на заключительной стадии (рис. 6, б) [14].

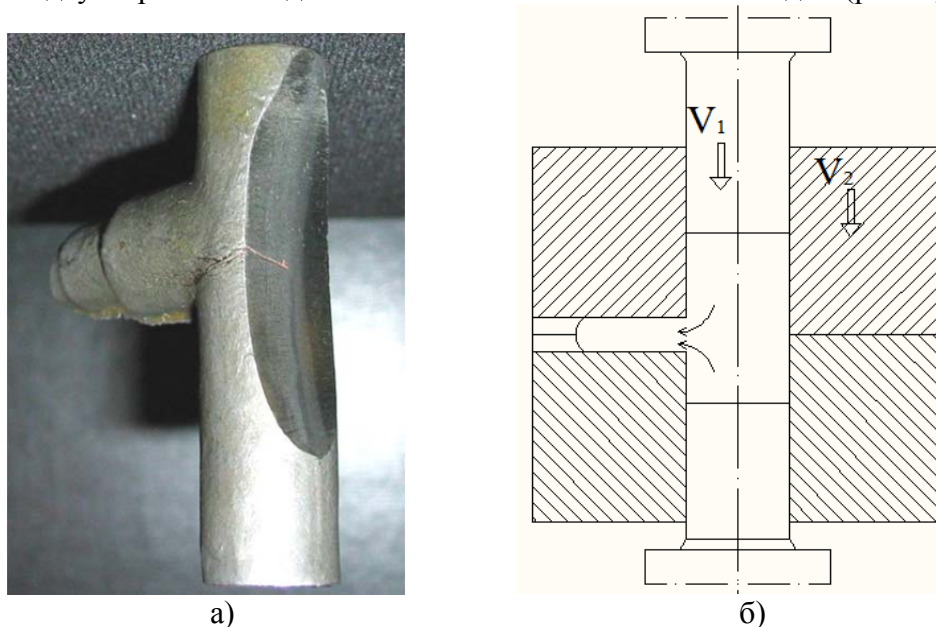


Рис. 6. Деталь с отрезком (а) и способ поперечного выдавливания с предварительной односторонней и последующей двусторонней комбинированной подачей металла (б)

Неравномерность деформаций снижает и эксплуатационную надежность выдавленных изделий. Фланцы (на деталях типа оконцевателей изоляторных подвесок из стали 20), полученные радиальным односторонним выдавливанием, при испытаниях на растяжение отделялись от стержневой части по практически гладкой поверхности, которая соответствовала нижней границе очага деформации (рис.7, б). В тех случаях, когда из-за конструктивных особенностей детали (например, оконцевателя) рекомендованное ранее

двустороннее выдавливание на заключительной стадии неосуществимо, эффективна схема комбинированного деформирования, когда на первом этапе выполняют высадку, а затем – одностороннее радиальное выдавливание (рис. 7, б) [15].

Устранению и дефектов типа утяжин, и грибовидности фланцев, а также повышению равномерности упрочнения детали способствует комбинированное радиальное выдавливание, включающее предварительный набор металла в полость подвижной матрицы и последующую высадку фланца [4]. Способ позволяет управлять траекторией (историей) деформирования и избежать опасной жесткой зоны напряженного состояния. В целом это приводит к повышению в 1,5–2 раза предельных диаметров фланцев, формообразуемых на стержневых заготовках.

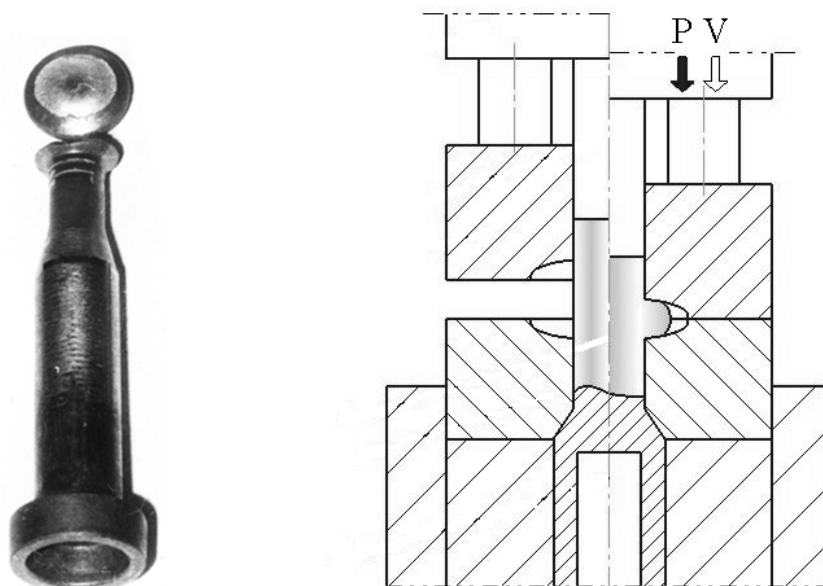


Рис. 7. Деталь с «отделяемым» фланцем (а) и способ комбинированного деформирования с предварительной высадкой и последующим радиальным выдавливанием с односторонней подачей металла (б)

Для повышения равномерности деформированного состояния и повышения степени проработки структуры металла направлены и способы интенсивной деформации со знакопеременным течением металла [15, 16].

### ВЫВОДЫ

Анализ деформированного состояния методом верхней оценки и методом делительных сеток позволил оценить неравномерность распределения деформаций по сечению заготовок, изготовленных по схемам продольного, поперечного и комбинированного выдавливания. Детально рассмотрен процесс радиального выдавливания внутреннего фланца. Установлена возможность взаимной компенсации неравномерности деформаций при простых схемах выдавливания при их взаимном сочетании или дополнении. Подбор схем выдавливания в многопереходном процессе или при комбинированном выдавливании, проведенный с учетом характера распределения деформаций, может быть эффективным методом снижения неравномерности деформации заготовки

Предложен ряд технологических способов комбинированного деформирования, которые регулируют положение зоны максимального упрочнения металла по высоте очага деформации, степень заполнения приемной полости матрицы, форму выдавливаемого фланца и повышают степень проработки металла.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки выдавливанием / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.
2. *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. – № 129. – P. 129–133.
3. Холодная объемная штамповка. Справочник / Под ред. Г. А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1973. – 496 с.
4. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1988. – № 6. – С. 1–4.
5. Огородников В. А. Качество заготовок и прогнозирование ресурса пластичности в современных технологиях обработки давлением / В. А. Огородников, В. И. Ковальчук // *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в машиностроении и металлургии. Сб. науч. тр.* – Краматорск–Славянск : ДГМА, 2003. – С. 226–233.
6. *Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion* / I. Aliiev, L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbankov // *Scientific and technical journal Metallurgical and mining industry*. – Dnepropetrovsk, 2011. – Vol. 3. – № 7. – P. 17–22.
7. Шибиков В. Г. Влияние параметров управляемого поперечного выдавливания на образование дефектов в поковках ступенчатой формы / В. Г. Шибиков, М. Н. Гончаров, С. Н. Гончаров // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2005. – № 8. – С. 7–9.
8. Aliieva L. *Cold extrusion shaping of parts with flange // New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering / XVII International scientific conference. A collective monograph. Chenstohov, 2016. – P. 183–188. – ISBN 978-83-63989-38-5.*
9. Огородников В. А. Ресурс пластичности металлов при холодном объемном формоизменении / В. А. Огородников, И. А. Деревенько, Л. И. Алиева // *Монография*. – Винница : ВНТУ, ООО «Меркьюри-Подолье» 2016. – 176 с. – ISBN 978-966-2696-69-1.
10. Алюшин Ю. А. Теоретические основы энергетических методов расчета процессов обработки металлов давлением: учебное пособие / Ю. А. Алюшин, С. А. Еленев. – Ростов н/Д. : РИСХМ, 1987. – 106 с.
11. Алиева Л. И. Оценка деформированного состояния деталей в процессе холодного выдавливания / Л. И. Алиева // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – № 2. – С. 77–85.
12. Пат. 74207 Україна, МПК В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення деталей типу втулок / Алієв І. С., Алієва Л. І., Бондарева О. М., Гаріфуліна А. Р.; заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u 201202793; заявл. 12.03.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.
13. Алиева Л. И. Формоизменение в процессе комбинированного выдавливания полых деталей типа стакана / Л. И. Алиева, О. В. Чучин, Д. А. Картамышев // *Прогресивна техніка, технологія і інженерна освіта. Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції – 21–24 червня 2016 – Одеса–Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2016. – С. 97–100.*
14. Пат. 84078 Україна, МПК В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення деталей з бічними відростками / Л. І. Алієва, О. М. Бровкін, І. А. Деревенько, О. А. Жукова, В. В. Цимбаліст; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201304310; заявл. 05.04.13; опубл. 10.10.13, Бюл. № 19.
15. Пат. 104817 Україна, МПК В 21 К 22/04. Спосіб виготовлення деталей з фланцем / Л. І. Алієва; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201506428; заявл. 30.06.15; опубл. 25.02.16, Бюл. № 4.
16. Пат. 107950 Україна, МПК В 21 J 5/12, В 21 К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакана / Л. І. Алієва, Х. В. Гончарук, О. В. Шкіра, Р. І. Сивак; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201513100; заявл. 30.12.15; опубл. 24.06.16, Бюл. № 12.
17. Пат. 108568 Україна, МПК В 21 J 1/04. Спосіб інтенсивного пластичного деформування заготовок / Л. І. Алієва, заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201513087; заявл. 30.12.2015; опубл. 25.07.2016. – Бюл. № 14.

## REFERENCES

1. Aliieva L. I. *Perspektivy razvittija processov tochnoj obemnoj shtampovki vydavlivaniem* / L. I. Aliieva, Ja. G. Zhbankov // *Visnik Donbas'koi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii : zbirnik naukovih prac'*. – Kramators'k : DDMA, 2008. – № 1 (11). – S. 13–19.
2. *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. – № 129. – P. 129–133.
3. *Holodnaja obemnaja shtampovka. Spravochnik* / Pod red. G. A. Navrockogo. – M. : Mashinostroenie, 1973. – 496 s.

4. Aliev I. S. *Tehnologicheskie processy holodnogo poperechnogo vydavlivaniya* / I. S. Aliev // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*. – 1988. – № 6. – S. 1–4.
5. Ogorodnikov V. A. *Kachestvo zagotovok i prognozirovanie resursa plastichnosti v sovremennyh tehnologijah obrabotki davleniem* / V. A. Ogorodnikov, V. I. Koval'chuk // *Sovershenstvovanie processov i oborudovaniya obrabotki davleniem v mashinostroenii i metallurgii*. Cb. nauch. tr. – Kramatorsk–Slavjansk : DGMA, 2003. – S. 226–233.
6. *Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion* / I. Aliiev, L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbankov // *Scientific and technical journal Metallurgical and mining industry*. – Dnepropetrovsk, 2011. – Vol. 3. – № 7. – P. 17–22.
7. Shibakov V. G. *Vlijanie parametrov upravljajemogo poperechnogo vydavlivaniya na obrazovanie defektov v pokovkah stupenchatoj formy* / V. G. Shibakov, M. N. Goncharov, S. N. Goncharov // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*. – 2005. – № 8. – S. 7–9.
8. Aliieva L. *Cold extrusion shaping of parts with flange* // *New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering / XVII International scientific conference. A collective monograph*. Cheshstohov, 2016. – P. 183–188. – ISBN 978-83-63989-38-5.
9. Ogorodnikov V.A. *Resurs plastichnosti metallov pri holodnom obemnom formoizmenenii* / V.A. Ogorodnikov, I.A. Dereven'ko, L. I. Aliieva // *Monografija*. – Vinnica : VNTU, OOO «Merk'juri-Podol'e» 2016. – 176 s. – ISBN 978-966-2696-69-1.
10. Aljushin Ju.A. *Teoreticheskie osnovy jenergeticheskikh metodov rascheta processov obrabotki metallov davleniem: uchebnoe posobie* / Ju. A. Aljushin, S. A. Elenev. – Rostov n/D. : RISHM, 1987. – 106 s.
11. Aliieva L. I. *Ocenka deformirovannogo sostojaniya detalej v processe holodnogo vydavlivaniya* / L.I. Aliieva // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2016. – № 2. – S. 77–85.
12. Pat. 74207 Ukraina, MPK B 21 K 21/00. *Sposib vigotovlennja detalej tipu vtulok* / Aliiv I. S., Aliiva L. I., Bondareva O. M., Garifulina A. R.; zajavnik i patentovlasnik Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – № u 201202793; zajavl. 12.03.2012; opubl. 25.10.2012, Bjul. № 20.
13. Aliieva L. I. *Formoizmenenie v processe kombinirovannogo vydavlivaniya polyh detalej tipa stakana* / L. I. Aliieva, O. V. Chuchin, D. A. Kartamyshev // *Progresivna tehnika, tehnologija i inzhenerna osvita. Materiali XVII Mizhnarodnoi naukovno-tehnichnoi konferencii – 21–24 chervnja 2016 – Odesa–Kiiv : Nacional'nij tehnicnij universitet Ukraini «KPI», 2016. – S. 97–100.*
14. Pat. 84078 Ukraina, MPK B 21 K 21/00. *Sposib vigotovlennja detalej z bichnimi vidrostkami* / L. I. Aliiva, O. M. Brovkin, I. A. Dereven'ko, O. A. Zhukova, V. V. Cimbalist; zajavnik ta patentovlasnik Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – № u201304310; zajavl. 05.04.13; opubl. 10.10.13, Bjul. № 19.
15. Pat. 104817 Ukraina, MPK B 21 K 22/04. *Sposib vigotovlennja detalej z flancem* / L. I. Aliiva; zajavnik ta patentovlasnik Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – № u201506428; zajavl. 30.06.15; opubl. 25.02.16, Bjul. № 4.
16. Pat. 107950 Ukraina, MPK V 21 J 5/12, B 21 K 21/00. *Sposib vigotovlennja porozhnistih virobiv tipu stakana* / L. I. Aliiva, H.V. Goncharuk, O.V. Shkira, R.I. Sivak; zajavnik ta patentovlasnik Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – № u201513100; zajavl. 30.12.15; opubl. 24.06.16, Bjul. № 12.
17. Pat. 108568 Ukraina, MPK V 21 J 1/04. *Sposib intensivnogo plastichnogo deformuvannja zagotovok* / L. I. Aliiva, zajavnik i patentovlasnik Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – № u201513087; zajavl. 30.12.2015; opubl. 25.07.2016. – Bjul. № 14.

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, докторант ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 17.10.2016 г.