

УДК 621.7.044

Аргат Р. Г.  
Пузырь Р. Г.

## ПУТИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕМ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПЕРАЦИЯХ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Развитие машиностроения неразрывно связано с применением прогрессивных методов изготовления деталей методом обработки металлов давлением, к которым предъявляются высокие требования по качеству, точности геометрических размеров, чистоте поверхности, что обосновано не только совершенствованием уже существующих, но и развитием новых способов штамповки. Применение прогрессивных формообразующих технологий, а также расширение технологических возможностей известных методов, основанных на пластическом деформировании, позволяющие увеличить коэффициент использования материала, который в настоящее время не отвечает современным требованиям металлообработки при изготовлении различных деталей, является актуальной, важной научно-технической проблемой, решение которой внесет значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

В зависимости от вида полуфабриката и вида ограничивающего фактора в практике могут быть использованы различные способы интенсификации процессов листовой штамповки [1, 2, 3]. В настоящее время число схем и способов, способствующих увеличению степени деформации за один переход настолько велико, что в данном исследовании не представляется возможным их все проанализировать, поэтому остановимся на некоторых, наиболее распространенных в производстве – гибка, вытяжка и профилирование.

Целью работы является изыскание наиболее эффективных способов формообразования в операциях листовой штамповки, обеспечивающих максимальное снижение расхода материала.

Теоретическому и экспериментальному анализу процесса изгиба посвящено большое количество работ [4, 5], вытяжке [6, 7], профилированию [8], где анализируются не только напряженно-деформированное состояние в очаге деформации, но приводятся данные по смягчению схемы напряженного состояния и тем самым более рациональному использованию пластических свойств металла.

Из большого количества способов и схем по совершенствованию операций листовой штамповки рассмотрим температурно-силовые способы изменения схемы нагружения при деформировании.

Штамповка с зональным нагревом позволяет решать не только проблему увеличения пластичности материала, но и предотвращения потери устойчивости в зоне передачи усилия или разрушения в опасных, т. е. наиболее нагруженных, зонах. Это объясняется уменьшением усилия деформирования при одновременном сохранении прочности материала в опасных зонах. Зональный нагрев заготовки в некоторых случаях позволяет расширить границы очага деформации, т. е. вовлечь в процесс деформирования дополнительный объем материала заготовки и соответственно увеличить степень формоизменения. При зональном нагреве принудительно создается перепад температур с целью создания определенного распределения прочностных и пластических свойств по очагу деформации.

Однако наряду с достоинствами штамповка с зональным нагревом имеет и недостатки, которые следует учитывать при внедрении процессов в производство. Основными из них являются следующие [9]:

- дополнительные затраты времени на нагрев штамповой оснастки, выдержку заготовки в инструменте перед началом деформирования, а также связанные со снижением скорости деформирования;
- рост зерна в некоторых зонах детали при критических степенях деформации;
- разупрочнение материала в некоторых зонах заготовки вследствие выдержки при повышенной температуре;
- необходимость в нагревателях и холодильниках.

Эти недостатки компенсируются снижением стоимости и трудоемкости изготовления детали, уменьшением, отходов, упрощением конструкции штампов и оборудования, сокращением номенклатуры оборудования и производственных площадей.

Достижимая к моменту разрушения максимальная деформация при штамповке с зональным нагревом соизмерима с деформацией, получаемой при штамповке в состоянии сверхпластичности, в случае совпадения температурно-скоростных режимов в наиболее опасном с точки зрения разрушения месте.

Кроме явлений, происходящих с материалом заготовки, фактором, ограничивающим максимальную температуру, является также стойкость штампа, которая снижается с повышением температуры штамповки.

Поэтому наибольший интерес представляют дополнительные силовые факторы воздействия на различные зоны заготовки с целью повышения коэффициента использования материала.

Интенсификации процесса изгиба листовых узких и широких заготовок посвящены работы [4, 9], рассматриваются различные схемы воздействий:

- изгиб со сжатием в радиальном направлении;
- изгиб со сжатием в тангенциальном направлении;
- изгиб с двусторонним приложением усилия;
- изгиб с осевым нагружением;
- гибка-раскатка.

Дополнительное нагружение заготовки в процессе гибки позволяет совместно или отдельно решить задачи уменьшения допустимого радиуса изгиба, уменьшения утонения в очаге деформации, повышения точности деталей и устранения трещинообразования.

На основе представленных выше способов дополнительного нагружения при изгибе в производстве профилей различного назначения разработаны ряд схем, позволяющих облегчить массу профиля с сохранением его эксплуатационных характеристик.

Одним из прогрессивных методов производства профилей в роликах профилировочных станков является метод интенсивного деформирования (МИД) [3]. Его основной особенностью является одновременная формовка всех зон профиля, что позволяет существенно уменьшить число переходов, использовать компактное оборудование и тем самым снизить затраты на изготовление профилей, особенно в условиях мелкосерийного производства. Другой отличительной чертой указанного метода является значительное «ужесточение» режимов подгибки элементов профиля. Это достигается за счет создания условий для стесненного изгиба (рис. 1).

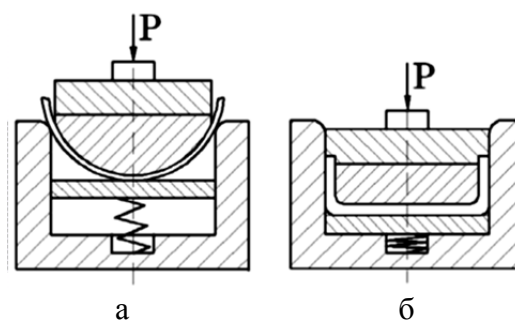


Рис. 1. Гибка стесненным изгибом в штампах:

а – первый переход (гибка на большой радиус); б – окончательное формообразование профиля

Для создания условий стесненного изгиба ширина плоской заготовки должна превышать ширину развертки калибра. Осадка криволинейных участков профилированной заготовки, прилегающих к угловым зонам, создает дополнительные силы, позволяющие получить в ограниченном контуре локальный набор материала по зонам изгиба профиля и малые относительные радиусы. При формовке угловых зон на первых переходах в открытых калибрах схема внешних воздействий близка к схеме гибки с растяжением (рис. 1, а), а на последних

переходах, где осуществляется обжим заготовки по наружному контуру, схема внешних воздействий близка к схеме гибки с торцевым сжатием (рис. 1, б). В первом случае заготовка, как правило, получает утонение, а во втором – утолщение. При интенсивном деформировании формовку заготовки (даже на первых переходах) осуществляют в закрытых калибрах.

Недостатком данного способа является наличие закрытых калибров, что подразумевает большую точность и трудоемкость их изготовления, а также высокую точность геометрических размеров заготовки и полуфабриката по переходам, что достаточно трудно выдержать с технологической точки зрения.

Операции, выполняемые с дополнительным нагружением заготовки, называют совмещенными [6]. В настоящее время известно большое число совмещений: раздачи с обжимом, раздачи с отбортовкой, вытяжки с обжимом, вытяжки с отбортовкой, раздачи с отбортовкой, гибки с раздачей и др. Кроме двойных возможны совмещения трех отдельных операций. Совмещение нескольких различных операций в одном штамповочном переходе позволяет решить в отдельности или совместно следующие задачи:

- расширения технологических возможностей штамповки путем уменьшения лимитирующих напряжений или деформаций либо увеличения пластичности материала;
- уменьшения номенклатуры штамповой оснастки и количества оборудования, необходимого для изготовления детали;
- повышения производительности труда за счет сокращения подготовительно-заключительного, вспомогательного и машинного времени;
- улучшения качества получаемых деталей;
- уменьшения объема последующих доводочных работ и улучшения условий труда;
- изготовления деталей рациональной конструкции.

Для примера, рассмотрим достаточно сложный процесс листовой штамповки – вытяжку.

В настоящее время процессы интенсивного деформирования в листовой штамповке и, в частности, при получении коробчатых деталей квадратной формы с отверстием в донной части находят широкое применение в автомобильной промышленности и в машиностроении. Традиционно такие детали изготавливают вытяжкой из плоской заготовки с последующей пробивкой отверстия требуемой формы и размеров, что сопровождается большим отходом металла. Предпринимались попытки комбинирования различных методов с целью обеспечения повышенной жесткости профиля за счет утолщения в угловой зоне. Значительного расширения возможностей вытяжки-отбортовки можно достичь, уменьшая величину растягивающих тангенциальных напряжений и создавая сжимающие радиальные напряжения. При отбортовке в зоне деформации создается благоприятная схема напряженно-деформированного состояния, которая позволяет повысить величину предельно допустимого коэффициента отбортовки за один переход и удастся уменьшить число штамповочных переходов, что увеличивает высоту и повышает точность формы.

Вытяжка с дополнительным нагружением позволяет разгрузить опасное с точки зрения разрушения сечение. Для этого к кромке заготовки прикладывается сжимающая нагрузка, действующая в радиальном направлении и заталкивающая заготовку в отверстие матрицы, в результате чего приложенное к пуансону усилие вытяжки уменьшается. Для дополнительного нагружения используют разнообразные устройства.

Создание высокого гидростатического сжатия требует дополнительных энергетических затрат, выражающихся в увеличении усилия деформирования, и принятия мер, предотвращающих затекание материала заготовки в малые зазоры между втулками, пуансоном и обоймами (в противном случае возможно заклинивание инструмента).

В устройстве, показанном на рис. 2, а, радиальный подпор создается при сжатии эластичного (например, полиуретанового) кольца 6 усилием  $p$ , приложенным к прижимному кольцу 5. Высота кольца 6 при этом уменьшается и происходит перемещение его материала в направлении отверстия матрицы. Кромка заготовки дополнительно нагружается, а пуансон 4 втягивает заготовку 1 в отверстие матрицы 2. При вытяжке с дополнительным нагружением требуемое усилие  $P$  меньше, чем при обычной вытяжке.

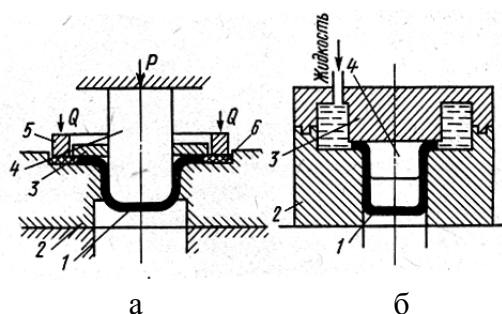


Рис. 2. Устройство для вытяжки с дополнительным нагружением в радиальном направлении:

а – с помощью эластичного элемента; б – жидкостью высокого давления

Если дополнительная радиальная нагрузка достаточно велика, то ее одной достаточно для превращения плоской листовой заготовки в стакан, а усилие вытяжки  $P$  будет равным нулю. В данном случае такой ограничивающий фактор, как разрушение стенки стакана, вообще отсутствует. На этом основано действие устройства для вытяжки жидкостью высокого давления (рис. 2, б). Плоскую заготовку 1 укладывают на матрицу 2 и предварительно вытягивают на небольшую высоту пуансоном 4, жестко прикрепленным к складкодержателю 3. В конце хода между матрицей и складкодержателем образуется замкнутая герметичная кольцевая полость, в которую под высоким давлением подают жидкость (воду, масло, глицерин и др.). Жидкость, оказывая давление на торцевую поверхность заготовки, выдавливает последнюю в зазор между пуансоном и матрицей, в результате чего образуется деталь типа стакана. При такой схеме нагружения радиальные растягивающие напряжения, вызывающие разрушение заготовки, отсутствуют, вследствие чего могут быть получены детали с отношением высоты к диаметру, равным 7–10. Строго говоря, этот процесс уже не является вытяжкой и более правильно назвать его прессованием.

Приведенные две схемы деформирования с дополнительными нагрузками, действующими в радиальном направлении, обладают существенными недоработками: первая схема позволяет оказывать силовое воздействие на торцы вытягиваемой заготовки только в начале процесса деформирования, а как показывают исследования [6, 7] наибольшее значение величины растягивающего меридионального напряжения будет в том случае, когда угол охвата заготовкой скругленной кромки матрицы достигает значения  $\alpha = \pi/2$ , а эластичный подпор из-за конечности удлинения может уже не оказывать дополнительного воздействия на очаг деформации; вторая схема – намного эффективней первой, но использование передающей среды в виде жидкости вносит существенные осложнения в конструкцию оснастки, намного усложняя ее и тем самым, способствует повышению себестоимости готовой детали. При этом приходится применять энергоемкие маслостанции и приводы, которые нуждаются в обслуживании и ремонте, что также существенно влияет на стоимость конечной продукции.

Еще одной сложностью для теоретического установления поля напряжений и деформаций в операциях листовой штамповки с измененной схемой внешнего воздействия является то, что формоизменение осуществляется под действием внешних нагрузок нескольких видов, их относительной независимости и в то же время взаимного влияния отдельного вида нагрузок друг на друга. Анализ процессов осложняется еще и тем, что зачастую форма очага деформации, т. е. форма заготовки в процессе деформирования, известна лишь приблизительно. Точное определение геометрических размеров получаемого изделия возможно только путем интегрирования скоростей деформаций по времени, т. е. с учетом истории нагружения. К настоящему времени решено относительно небольшое число технологических задач, в которых рассматриваются процессы пластического формоизменения при нагружении заготовки одновременно или в определенной последовательности несколькими видами внешних нагрузок. В работе [10] описана методика расчета процессов пластического формоизменения заготовок под действием нескольких независимых друг от друга нагрузок, которая основана на том, что итоговая деформация представляется в виде некоторой совокупности

деформаций, возникающих при действии отдельных видов нагрузок, согласованных между собой. Сложное формоизменение при это разлагается на ряд простых процессов, анализируют их в отдельности, а затем путем объединения простых процессов получают синтезированный сложный процесс как сумму двух простых с учетом их взаимодействий. Это процесс описывается функцией

$$\Phi_i = \Phi_i(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_m; z_1, z_2, \dots, z_r),$$

где  $\Phi_i$  – некоторый параметр исследуемого процесса;

$x_n, y_m, z_r$  – факторы, характеризующие влияние вида нагрузки, условия деформирования и свойства заготовки соответственно.

## ВЫВОДЫ

Анализ современных технологических процессов штамповки показал, что применение методов силовой интенсификации позволяет уменьшить размер исходной заготовки, уменьшить расход материала на 5–15 %, число штамповочных переходов, повысить коэффициент использования металла, качество выпускаемых изделий и производительность труда, следовательно, снизить себестоимость штампованных деталей. Но при внедрении новых способов в производство возникают неизбежные технические и технологические трудности, связанные с несовершенством разработанных конструкций инструмента, вспомогательного оборудования и недоработками самого технологического процесса. Поэтому при проектировании операций листовой штамповки, направленных на полное использование пластичности материала, нужно стремиться к упрощению конструкций оснастки и геометрии заготовки, что приведет к наилучшему экономическому эффекту.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калюжний О. В. Визначення максимального зусилля деформування та потовщення фланця при витягуванні з диференційованим радіальним підпором фланця / О. В. Калюжний // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 38–44.
2. Драгобецкий В. В. Анализ нагружения заготовки при радиально-ротационном способе получения ободьев колес с измененной схемой внешнего воздействия / В. В. Драгобецкий, Р. В. Левченко, Р. Г. Пузырь // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 146–149.
3. Мищенко О. В. Производство гнутых профилей с отбортовками в роликах методом интенсивного деформирования / О. В. Мищенко, В. И. Филимонов. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 122 с.
4. Лысов М. И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки / М. И. Лысов. – М. : Машиностроение, 1966. – 236 с.
5. Мошнин Е. Н. Гибка, обтяжка и правка на прессах / Е. Н. Мошнин. – М. : Машигиз, 1959. – 360 с.
6. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.
7. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.
8. Производство и применение гнутых профилей проката: справочник / под ред. И. С. Тришевского. – М. : Металлургия, 1975. – 576 с.
9. Ершов В. И. Интенсификация формоизменяющих операций листовой штамповки : учеб. пособие для ПТУ / В. И. Ершов. – М. : Высш. шк., 1989. – 87 с.
10. Ершов В. И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки / В. И. Ершов, В. И. Глазков, М. Ф. Каширин. – М. : Машиностроение, 1990. – 312 с.

Аргат Р. Г. – ст. преп. КрНУ им. М. Остроградского;

Пузырь Р. Г. – канд. техн. наук, доц. КрНУ им. М. Остроградского.

КрНУ – Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского, г. Кременчуг.

E-mail: pudik-r@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.10.2012 г.