

## СИЛОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Технологический процесс листовой штамповки представляет собой ряд последовательно выполняемых элементарных операций, требующих соответствующего количества штампов и штамповочного оборудования. Сокращение длительности технологического процесса, уменьшение количества используемого оборудования и обслуживающего персонала, а следовательно, снижение трудоемкости и повышение производительности труда обеспечивается за счет увеличения допустимого за одну операцию формоизменения заготовок.

Существенное увеличение допустимого за одну операцию формоизменения заготовки может быть достигнуто путем изменения краевых условий на границе у очага деформации или путем определенного изменения напряжения текучести в различных зонах очага деформации. При этом необходимо обеспечивать такие условия деформирования, при которых напряжения в опасных участках деформируемой заготовки, ограничивающих допустимое формоизменение, не достигают критических значений.

Различают силовую и термическую интенсификацию операций листовой штамповки. При силовой интенсификации за счет соответствующего приложения внешних сил благоприятным образом изменяется напряженное состояние в очаге деформации, что способствует уменьшению напряжений в опасных зонах деформируемой заготовки и позволяет увеличить степень возможного формоизменения.

При температурной интенсификации за счет нагрева или охлаждения отдельных частей заготовки создается неоднородное температурное поле, приводящее к изменению сопротивления деформированию в очаге деформации или в недеформируемой части заготовки. При этом может происходить либо уменьшение сопротивления деформированию в определенных участках очага деформации,

либо увеличение сопротивления разрушению или потере устойчивости в недеформируемой части заготовки, либо одновременно и то и другое.

Силовая интенсификация осуществляется различными методами: путем уменьшения реактивных сил трения или превращения их в активные (вытяжка с утонением, вытяжка полиуретаном, гидромеханическая вытяжка и др.), путем дополнительного силового воздействия к краям деформируемой заготовки (вытяжка с заталкиванием заготовки, раздача с подпором и др.), путем локализации очага деформации (сферодвижная штамповка, ротационная вытяжка и др.).

Термический метод интенсификации формоизменения заготовок использован в таких способах, как вытяжка с нагревом фланца и охлаждением зоны опасного сечения, обжим и раздача с локальным нагревом заготовки в очаге деформации.

В настоящей работе рассматривается возможность силовой интенсификации технологических процессов листовой штамповки при совместном выполнении двух или более различных элементарных операций. Такой принцип интенсификации технологических процессов, как выполнение нескольких операций в одном штампе совмещенного или последовательного действия, широко используется в производстве. Однако выполняемые при этом операции реализуются независимо друг от друга.

Интерес представляет такой комбинированный процесс, при котором в результате взаимного воздействия друг на друга отдельных очагов деформации создаются более благоприятные условия для одной либо каждой из совместно выполняемых операций за счет изменения напряжений, действующих в очагах деформации различных операций или в недеформируемой части заготовки.

Предпосылкой для постановки такой задачи являются ранее проведенные исследования процесса комбинированной вытяжки, представляющего собой сочетание двух других способов вытяжки: вытяжки без принудительного утонения и вытяжки с принудительным утонением стенки вытягиваемого изделия, которые убедительно продемонстрировали перспективность такого направления интенсификации.

Основным фактором, лимитирующим предельную степень деформации при вытяжке без утонения, является локализация пластической деформации, которая приводит к отрыву дна частично вытя-

нутой детали. Общий принцип интенсификации процессов вытяжки состоит в уменьшении нагрузки опасного сечения при сохранении или увеличении его несущей способности. Опасное сечение образуется на участке донного закругления, примыкающего к вертикальной стенке вытягиваемой детали. Деформируемый металл в этой зоне в процессе пластического формоизменения получает незначительное упрочнение, которое обусловлено изгибом заготовки и произвольным утонением. Иные условия в зоне образования опасного сечения возникают при вытяжке с принудительным утонением. Спрямление заготовки, имеющее место при вытяжке, здесь заменяется сдвигом, что приводит к значительному упрочнению металла, а следовательно, и к повышению несущей способности опасного сечения заготовки.

Принудительное утонение способствует увеличению площади контакта пуансона с заготовкой и росту сил трения на их поверхностях. Направление силы трения, возникающей на контактной поверхности пуансона с заготовкой, совпадает с направлением движения пуансона и, следовательно, выполняет полезную работу по передаче части технологического усилия непосредственно в очаг деформации через боковую поверхность пуансона, а не через дно заготовки. Таким образом, вытяжка с утонением обеспечивает не только повышение несущей способности опасного сечения в результате его упрочнения, но и его разгрузку путем увеличения сил трения, действующих по пуансону.

При комбинированной вытяжке деформирование заготовки происходит и по периметру, и по толщине. В результате технологическое усилие значительно больше усилий отдельных процессов вытяжки, составляющих комбинированный процесс. Тем не менее, при определенных условиях совмещение двух операций позволяет существенно интенсифицировать процесс формоизменения заготовки. В результате этого создается возможность наряду с уменьшением толщины заготовки осуществлять также существенное уменьшение ее диаметра, что собственно и определяет комбинированную вытяжку.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования процесса комбинированной вытяжки показали, что преимущества совмещения деформаций по периметру и толщине заготовки

могут быть использованы в более полной мере при оптимизации ряда параметров.

Силовая интенсификация, осуществляемая за счет совмещения нескольких операций, является весьма перспективной, так как позволяет достичь большего формоизменения заготовки, чем при раздельном выполнении этих операций с максимальными степенями деформации.

Сравнивая характер изменения размеров заготовки в формоизменяющих операциях листовой штамповки, можно заметить, что при некоторых операциях происходит подобное формоизменение заготовки. Так, при последующих переходах вытяжки и обжиге происходит уменьшение диаметра заготовки, при операциях раздачи и отбортовки – увеличение диаметра. Также следует отметить, что сходное формоизменение заготовок осуществляется при различном характере приложения внешних усилий. При вытяжке и отбортовке формоизменение заготовки осуществляется в результате одновременного воздействия на нее двух инструментов – пуансона и матрицы. При раздаче и обжиге формоизменение осуществляется воздействием на заготовку только одного инструмента (пуансона при раздаче и матрицы при обжиге).

В зависимости от вида совместно выполняемых операций в комбинированном процессе могут иметь место различные варианты формоизменения заготовки. В первом варианте комбинированного деформирования происходит уменьшение поперечных размеров отдельных участков заготовки (например, вытяжка + обжим). Во втором варианте комбинированного деформирования происходит увеличение поперечных размеров заготовки (раздача + отбортовка). Наконец, в третьем варианте совмещения нескольких операций происходит уменьшение поперечных размеров одного участка заготовки и увеличение поперечных размеров других ее участков.

В зависимости от вида сочетаемых операций в комбинированном процессе могут образовываться один общий или два самостоятельных очага деформации. Если обе совмещаемые операции приводят к уменьшению или увеличению поперечных размеров заготовки, то образуется один общий очаг деформации. Если одна из совмещаемых операций приводит к увеличению, а другая к уменьшению поперечных размеров заготовки, то образуется два отдельных очага деформации, разделенных упругодеформированным участком заготовки.

В первом случае общий очаг деформации состоит из двух участков, в которых возникают напряжения, характерные для каждой из сочетаемых операций. На границе между двумя участками общего очага деформации меридиональные напряжения равны нулю (эта граница разделяет участки очага деформации с разными знаками меридиональных напряжений, действующих вдоль образующей стенки полого изделия).

Рассмотрим особенности комбинированного процесса, сочетающего операции вытяжки и обжима.

Обжим – операция, где происходит уменьшение поперечных размеров краевой части полой цилиндрической заготовки в результате заталкивания ее в воронкообразную матрицу. Усилие, действующее со стороны матрицы, уравнивается реакцией опоры, воздействующей на краевую часть недеформируемого участка заготовки. Меридиональные и тангенциальные напряжения в очаге деформации являются сжимающими. Контактные нормальные напряжения, действующие на наружной поверхности заготовки в очаге деформации, значительно меньше напряжения текучести. Таким образом, схема напряженного состояния в очаге деформации близка к схеме плоского напряженного состояния.

Допустимое формоизменение заготовки при обжиге обычно ограничивается не разрушением заготовки, а потерей ее устойчивости. Возможны два вида потери устойчивости заготовки. Одним из видов потери устойчивости является образование продольных складок в очаге деформации под действием тангенциальных сжимающих напряжений. Другим видом потери устойчивости заготовки при обжиге является образование кольцевой складки в цилиндрической недеформируемой части заготовки под действием меридиональных сжимающих напряжений, создаваемых в стенке заготовки усилием заталкивания.

Увеличение допустимой степени формоизменения при обжиге может быть достигнуто путем ограничения возможности потери устойчивости заготовки. Для увеличения сопротивления образованию поперечной кольцевой складки применяется односторонний (в виде скользящей по наружной поверхности заготовки втулки) или двусторонний (в виде скользящей по наружной поверхности заготовки втулки и стержня, расположенного внутри заготовки) подпор.

При совместном выполнении операций вытяжки и обжима общий очаг деформации состоит из двух участков (рис.): участка обжима (область, ограниченная диаметрами  $D$  и  $d_{гр}$ ) и участка вытяжки (область, ограниченная диаметрами  $d_{гр}$  и  $d$ ). В каждом очаге деформации возникают характерные для отдельной элементарной операции напряжения: в очаге деформации обжима – сжимающие окружные и сжимающие меридиональные, в очаге деформации вытяжки – сжимающие окружные и растягивающие меридиональные.

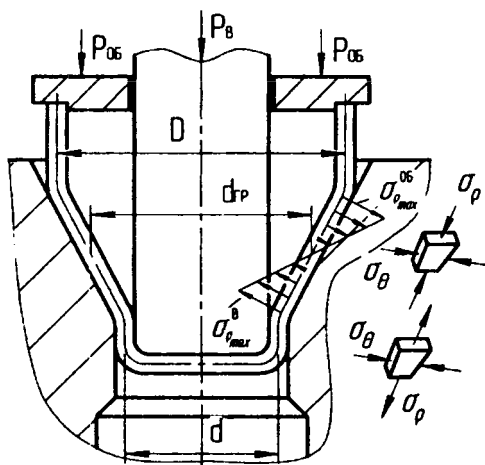


Рисунок – Схема комбинированного процесса «вытяжка-обжим»

Меридиональные напряжения в общем очаге деформации переходят от растягивающих в зоне вытяжки к сжимающим в зоне обжима. Окружное сечение, в котором меридиональные напряжения равны нулю, является переходным, разграничивающим очаги деформации вытяжки и обжима.

Предельные возможности изменения диаметра исходной заготовки в комбинированном процессе можно определить на основе предельно допустимых степеней формоизменения для каждой операции:  $K = K_{об}K_{в}$ , где  $K_{об}$  – степень формоизменения при обжиме,  $K_{в}$  – степень формоизменения при вытяжке.

Деформирование заготовки во втором участке очага деформации осуществляется путем одновременного протягивания заготовки через

матрицу усилием  $P_v$ , приложенным к донной ее части, и заталкивания заготовки в матрицу усилием, равным усилию обжима  $P_{об}$ .

Следствием влияния очага деформации обжима на очаг деформации вытяжки является создание дополнительных сжимающих напряжений в очаге деформации вытяжки, в котором действуют растягивающие напряжения, что приводит к их уменьшению, разгрузке опасного сечения, а следовательно, увеличению допустимой степени деформации вытяжки. С учетом этого допустимая степень вытяжки в комбинированном процессе будет превышать допустимую степень вытяжки в случае отдельного ее выполнения. В результате общая предельно допустимая степень формоизменения заготовки при совмещенной операции будет превышать суммарную степень формоизменения при раздельном выполнении операций.

При предельных степенях вытяжки и обжима, равных соответственно  $K_v \max = 2$ ;  $K_{об \max} = 1,5$  при раздельном их выполнении, суммарная степень формоизменения заготовки совмещенной операции будет превосходить произведение максимальных пооперационных показателей деформации ( $K > 3,0$ ) за счет влияния очага деформации обжима на очаг деформации вытяжки.

Уменьшение растягивающих меридиональных напряжений в опасном сечении за счет заталкивающей силы зависит от угла охвата заготовкой скругленной кромки матрицы. При вытяжке на радиусной матрице угол охвата уменьшается с увеличением радиуса скругления вытяжной кромки матрицы. Для более эффективного уменьшения растягивающих напряжений в опасном сечении целесообразно комбинированный процесс «вытяжка-обжим» производить с использованием конической вытяжной матрицы.

Еще более существенного формоизменения заготовки можно добиться, совмещая обжим с комбинированной вытяжкой. Влияние сжимающих меридиональных напряжений, действующих в очаге обжима, усиливается активными силами трения, действующими по пуансону, что еще в большей степени способствует разгрузке опасного сечения и позволяет дополнительно увеличить степени деформации вытяжки по периметру и толщине заготовки.

Для осуществления совмещенной операции «вытяжка-обжим» необходимо согласованное независимое перемещение рабочих частей штампа, оказывающих силовое воздействие на заготовку, так как в процессе ее деформирования происходит изменение длины

заготовки. Наиболее простым вариантом решения этой задачи является применение гидравлического привода рабочей части штампа, осуществляющей обжим. Это позволит создавать требуемое деформирующее усилие при отсутствии жесткого закона перемещения инструмента.

Исходя из особенностей совмещенной операции «вытяжка-обжим», можно сделать вывод, что ее использование будет наиболее эффективно для изготовления ступенчатых осесимметричных деталей с промежуточной конической поверхностью. Проведенный анализ показал, что при определенных условиях совместное выполнение двух или более операций позволяет достичь большего формоизменения заготовки, чем суммарное формоизменение, достигаемое при раздельном выполнении этих операций.