

## ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СПОСОБЫ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Листовая штамповка — один из наиболее прогрессивных высокопроизводительных и малотрудоемких видов обработки металлов давлением, основанной на пластической деформации металла при воздействии механических усилий.

Технологическим процессом штамповки называется совокупность технологических операций, непосредственно связанных с изменением формы, размеров, свойств и состояния исходной заготовки, а также с ее транспортированием и контролем от момента поступления в обработку до получения штампованной заготовки или детали.

Материал для изготовления штампованной детали выбирают в зависимости от ее назначения; требуемой точности; напряжений, испытываемых деталью при эксплуатации и изготовлении; условий работы (температура, давление, среда и др.). Кроме того, при выборе материала учитывают ее физические и химические свойства — тепло- и электропроводность, магнитную проницаемость, жаростойкость, плотность и др. Более предпочтительными являются материалы, сохраняющие высокие эксплуатационные характеристики в течение длительного времени.

Листовой штамповкой, обеспечивающей высокие производительность и качество обработки, изготавливают детали автомобилей (60...75 %), тракторов (35...40 %), приборов (70...75 %). Этот метод широко применяют в самолетостроении, а также в производстве различных товаров широкого потребления.

При высокоскоростном деформировании металла увеличение мощности (энергии) процесса осуществляется за счет высокой скорости (50...300 м/с) преобразования энергии, что является основным отличием этого метода штамповки от статических. К высокоскоростным деформирующим процессам обработки металлов относятся: штамповка взрывом; электрогидравлическая штамповка, магнитно-импульсная штамповка.

К преимуществам высокоскоростных способов штамповки можно отнести сравнительно небольшие затраты на организацию производственного участка — оснащение, эксплуатацию установок; ускорение сроков подготовки производства, обеспечивающее мобильность последнего при изготовлении крупногабаритных, сложных деталей из труднодеформируемых сталей, и др.

К недостаткам — специфические, а иногда и довольно сложные требования безопасности при выполнении штамповки взрывом и использовании мощных электрических разрядов.

## **Штамповка взрывом**

Одним из высокоскоростных способов штамповки является штамповка взрывом. Сущность процесса штамповки взрывом заключается в том, что заготовка под действием ударной волны, вызванной взрывом заряда взрывчатого вещества, деформируется и приобретает заданную матрицей форму. Нагрузка, прикладываемая к заготовке при штамповке взрывом, характеризуется чрезвычайно малым отрезком времени приложения. Такие нагрузки называют импульсными. Время воздействия импульсной нагрузки на заготовку определяется временем падения давления в ударной волне. По величине оно равно нескольким микросекундам.

С ее помощью выполняют вытяжку, отбортовку, раздачу и обжим труб, формовку ребер жесткости, калибровку, правку, вырубку и другие операции [1].

При штамповке взрывом заряд размещают либо на поверхности заготовки (при этом взрывная волна непосредственно воздействует на заготовку), либо на некотором расстоянии от нее (в этом случае энергия взрыва передается через промежуточную среду — газ, жидкость, песок и др.)

При штамповке взрывом заготовка деформируется ударной волной полусферического фронта. При взрыве заряда образуются газы. Высокое давление возникшего газового шара вызывает появление в воде ударной волны, давление которой через слой воды передается на поверхность заготовки. Часть энергии ударной волны расходуется на ускорение заготовки, часть — на пластическую деформацию. Масса заряда определяется с учетом расстояния до заготовки, вида взрывчатого вещества, диаметра, толщины и материала заготовки, а также глубины штамповки.

Расширение образовавшихся при взрыве газов тормозится инерционными силами частиц воды. При этом слой воды, окружающий газовый шар, получает импульс, возбуждающий первичную ударную волну, во фронте которой существует очень высокое давление. В ударную волну переходит до 40 % энергии взрыва.

Основные достоинства штамповки взрывом: низкая стоимость оснастки; небольшие капитальные затраты; сокращение числа технологических переходов; высокая точность обработки; возможность изготовления деталей сложной формы из труднодеформируемых и хрупких сплавов. К недостаткам относятся неэкономичность при большом объеме производства, трудность управления процессом, опасность и неудобство работы со взрывчатым веществом.

### **Магнитно - импульсная штамповка**

Принцип магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) состоит в том, что при прохождении электрического тока по токопроводящей катушке создаваемое вокруг нее магнитное поле индуцирует вихревые токи в обрабатываемой заготовке детали, которые удерживают это поле на ее поверхности. Взаимодействие магнитного поля и вихревых токов порождает силы, направленные по нормали к поверхности внутрь заготовки детали. При отсутствии поля на внутренней поверхности заготовки

сила, действующая на каждый сантиметр, зависит от плотности энергии в магнитном поле у этой поверхности. Так, при плотности магнитного потока в 300 кгс давление будет составлять около 350 МПа.

Основной особенностью электромагнитной (магнитно-импульсной) обработки является создание непосредственно импульсным магнитным полем механических усилий, деформирующих заготовку без помощи промежуточных твердых, жидких или газообразных тел. Магнитно-импульсная штамповка — это способ бесконтактного деформирования, при котором электрическая энергия без дополнительных преобразований расходуется на совершение работы пластической деформации.

Между магнитным полем индуцированного в заготовке тока и магнитным полем тока в индукторе возникают электромеханические (пондеромоторные), силы взаимодействия. Эти силы, носящие импульсный характер (длительность воздействия — менее  $10^{-3}$  с), сообщают обрабатываемой заготовке запас кинетической энергии. Скорость деформирования при этом достигает сотен метров в секунду. При соударении с матрицей, оправкой или другой деталью происходят окончательное формоизменение заготовки, ее калибровка, сборка, а при определенных условиях и сварка.

Сущность деформирования заготовки из высокопроводимого металла импульсным магнитным полем заключается в следующем: конденсаторные батареи заряжаются до требуемого уровня запаса энергии, а затем мгновенно (примерно за 40 мкс) разряжаются на спиральную обмотку (индуктор). Во время этого разряда по виткам индуктора проходит импульс тока большой силы, создающего вокруг витков импульсное магнитное поле. Если в зоне действия магнитного поля (например, внутри индуктора) поместить металлическую заготовку так, чтобы она пересекала его силовые линии, то эта заготовка станет короткозамкнутым вторичным одинарным витком, а разрядный индуктор — первичным витком [1, 3]

При быстром разряде конденсатора ток, проходящий через первичный виток, индуцирует в заготовке напряжение, в результате чего между индуктором и заготовкой наводятся два противоположных по знаку магнитных поля. Вследствие этого между индуктором и заготовкой возникают интенсивные силы, отталкивающие заготовку от индуктора. Если индуктор расположен вокруг заготовки, действующие силы сжимают последнюю, если внутри — раздают ее. При использовании индуктора с витками, находящимися в одной плоскости, получают однородное силовое поле, направленное от индуктора.

Электромагнитной штамповкой обрабатывают листовые и трубчатые заготовки при толщине листа (стенки трубы) до 5 мм. Листовая заготовка может быть плоской или с предварительно искривленной поверхностью, а трубчатая — иметь круглое, овальное, прямоугольное и другой формы сечение.

Магнитно-импульсную штамповку используют для выполнения таких операций листовой штамповки, как раздача, обжим, отбортовка фланцев, рельефная формовка, чеканка, калибровка, вырубка, пробивка, сборка неразъемных соединений.

По сравнению с другими, импульсными способами электромагнитная штамповка имеет достоинства: большая универсальность (одним рабочим индуктором можно изготавливать детали различных размеров и форм); простота оснастки; отсутствие движущихся частей и более низкий уровень шума, чем при штамповке взрывом и ЭГШ; возможность воздействия на металлическую заготовку через изоляционное покрытие, инертные среды, стенки вакуумной камеры (при этом усилия деформирования не оказывают влияния на эти среды); возможность получения равномерных и больших (до 3000 МПа) давлений на значительной площади; небольшая металлоемкость оснастки благодаря кратковременному воздействию магнитного импульсного поля.

К недостаткам электромагнитной штамповки относятся: трудоемкость и сложность выполнения глубокой вытяжки, ряд ограничений по форме, геометрическим размерам и материалу заготовок; низкая стойкость индукторов при штамповке стальных заготовок.

### **Электрогидравлическая штамповка**

Преобразование электрической энергии в механическую в жидкой среде, совершаемое без промежуточных звеньев, называется электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ), а устройства и процессы с использованием ЭГЭ — электрогидравлическими. ЭГЭ основан на механическом воздействии расширяющегося канала и весьма кратковременного высоковольтного импульсного разряда на окружающую жидкую среду, передающую это воздействие на обрабатываемую заготовку.

ЭГЭ состоит в том, что при осуществлении внутри объема жидкости, находящейся в сосуде, высоковольтного импульсного разряда в зоне его действия возникают импульсные сверхвысокие гидравлические давления. Эти давления проявляются в механических перемещениях жидкости, сопровождающихся разрушением неметаллических и пластическими деформациями объектов, помещенных вблизи зоны разряда [1, 2].

Физическая сущность ЭГЭ заключается в том, что практически несжимаемая жидкость с огромной скоростью раздвигается во все стороны от линии разряда, создавая полость кавитации и первый (основной) гидравлический удар. Затем полость смыкается, создавая второй удар — кавитационный. На этом цикл заканчивается, повторяясь с частотой чередования импульсов. Для осуществления пробоя воды прикладываемое к электродам напряжение должно достигнуть нескольких десятков киловольт.

В процессе штамповки происходит выделение в канале разряда большей части запасенной конденсатором энергии. В результате быстрого нарастания мощности температура в канале разряда достигает нескольких десятков тысяч градусов. Под действием тока разряда большой плотности (благодаря испарению жидкости и приведению некоторой ее части в состояние плазмы) в канале разряда образуется газопаровая полость. Температура плазмы в канале разряда достигает 15 000...20 000 К.

Интенсивный разогрев плазмы разрядным током приводит к повышению давления и расширению канала разряда. Через 0,1...0,3 мкс с момента образования канала его диа-

метр увеличивается до 1...3 мм со скоростью около 104 м/с. Затем скорость расширения канала снижается до уровня, определяемого начальной крутизной тока. Скорость расширения канала до установления максимальной силы тока остается постоянной. В начальный момент плотность тока в канале разряда превышает 1,8-106 А/см<sup>2</sup>.

С увеличением объема канала снижается плотность и увеличивается сила тока. Благодаря малой сжимаемости жидкости давление внутри газопаровой полости достигает нескольких десятков килобар. В результате наличия высокого давления и внезапного увеличения объема канала разряда в окружающей жидкости возникает ударная волна (в виде сферы), распространяющаяся к стенкам заготовки со скоростью более 1500 м/с, что значительно превышает скорость расширения канала разряда. Вследствие этого фронт ударной волны, вначале неотделимый от канала, через 0,5... 1,5 мкс отрывается от него. Эта волна распространяется со сверхзвуковой скоростью, постоянной на протяжении времени существования канала разряда. По мере сжатия полости давление внутри нее повышается и, когда объем полости приблизится к наименьшему, оно достигает наибольшей величины. При смыкании полости происходит второй — кавитационный удар. Часть энергии ударной волны передается заготовке, деформируя ее; остальная энергия теряется на нагрев, световое излучение и ионизацию.

В настоящее время используют два способа превращения электрической энергии в механическую: разряд через зазор в жидкости и разряд через проволочку. В первом случае электроды разъединены жидкостью, а во втором они соединены проволокой. Так называемым инициатором разряда. Использование инициатора разряда позволяет снизить рабочее напряжение и тем самым упростить изоляцию электродов.

Электрогидравлической штамповкой обычно (ЭГШ) изготавливают детали из листовых заготовок толщиной 0,8...2,0 мм. При этом минимальные радиусы кривизны поверхности детали, как правило, составляют не менее 2...4 мм. Габаритные размеры плоских заготовок деталей сложной формы, изготавливаемых ЭГШ, достигают 1500x2000 мм. Глубина штампуемых деталей — до 500 ...600 мм.

ЭГШ используется для изготовления деталей формовкой из трубчатых заготовок, для вытяжки деталей сложной формы из плоской заготовки, рельефной штамповки, калибровки оболочек, сборки деталей штамповкой (развальцовка, запрессовка и др.), пробивки отверстий (в том числе и в трубчатых заготовках), вырубки тонколистовых деталей и заготовок, обжима, раздачи, отбортовки и пр.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ракошиц Г.С. Электроимпульсная штамповка. — М.: Высшая школа, 1990. — 189 с.
2. Аверкиев Ю.А. Лекции по курсу «Листовая штамповка». — Ростов — на — Дону, 1978. — 52 с.
3. Степанченко В.А., Климентьев В.Н., Россиянин В.П. и др. Импульсная штамповка деталей в машиностроении. — Киев, 1969. — 107 с.