

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ШТАМПОВКИ С ОБКАТЫВАНИЕМ

Стаття присвячена визначенню і дослідженню перспективних напрямів розвитку штампування обкочуванням. Характерною ознакою досліджених напрямів є комплексне поєднання конструкторських і технологічних особливостей процесу і обладнання. Кожен із запропонованих напрямів розглянутий на конкретних прикладах. Застосування розробок суттєво впливає на показники ефективності виробництва.

The article is devoted determination and research of perspective directions of development of stamping with a rolling-off. The characteristic difference of the probed directions is a complex association of designer and technological features of process and equipment. Each of the offered directions is considered on concrete examples. The use of developments substantially influences on the indexes of efficiency of production.

Анализ литературных данных свидетельствует о расширении промышленного использования штамповки с обкатыванием (ШСО). Это обусловлено тем, что использование процесса при изготовлении широкой номенклатуры изделий, в конечном счете, приводит к ощутимому снижению себестоимости изготовления, повышению показателей качества и конкурентоспособности производителя.

Примерами прорывного распространения технологий штамповки с обкатыванием могут служить:

реализация рекомендаций по освоению новых перспективных технологических процессов в области обработки металлов давлением на период 2006–2015 годы, которая принята в Российской Федерации и в соответствии с которой ОАО «Тяжпрессмаш» (г. Рязань) готовит к производству серийные гидравлические прессы с ЧПУ номинальным усилием 1,6 МН, 2,5 М, 6,3 МН, 10,0 МН, 16,0 МН, 20,0 МН для ШСО осесимметричных деталей;

– внедрение на Минском тракторном заводе (Республика Беларусь) технологий и оборудования для ШСО швейцарской фирмы "Heinrich Schmid Maschinen- und Werkzeugbau AG" ("SCHMID"), которые позволят производить окончательное формирование зубчатого венца конических прямозубых шестерен и сателлитов дифференциала заднего моста тракторов;

– аналогичное предыдущему переоснащение автомобильной промышленности активно ведется в Китайской Народной республике и пр.

Приведенные примеры успешного использования технологий с локальным очагом деформирования основываются на широких технологических возможностях способа [1, 2]. Необходимо отметить, что эти возможности существенно расширяются или возникают новые качественные эффекты при оснащении специализированного оборудования сравнительно простыми по конструкции приспособлениями. Целью статьи является выделение основных перспективных конструкторско-технологических направлений развития ШСО, повышающих его эффективность.

Несмотря на разнообразие принципиальных конструкций механизма обкатывания – основного узла специализированного оборудования для ШСО, однозначный вывод о преимуществе какого-либо отсутствует. Поэтому разработка механизма с максимальными показателями эффективности является одной из актуальных задач при создании оборудования. При этом эффективность кинематической схемы привода не отделима от его технологических возможностей.

Лидером на рынке оборудования для ШСО являются прессы моделей Т200, Т400, Т630 "SCHMID", которые имеют универсальное назначение и широкие технологические возможности. На рис.1.а представлена конструкция пресса Т630 "SCHMID" [3]. Отличительной особенностью пресса является оснащение пресса дополнительным приводным пуансоном 3, расположенным в корпусе подвижного активного прессователя 4. С одной стороны, это придает новые технологические возможности по формообразованию центральной полости, при извлечении детали из штампа (рис.1.б), при прошивании центрального отверстия (рис.1.в) и пр. С другой стороны, перечисленные операции выполняются в положении, когда подвижный активный прессователь 4 (см. рис.1.б, в) и, соответственно, пуансон 3 занимает строго вертикальное положение. Конструктивно сохранить такое положение пуансона 3 при выполнении рабочих обкатывающих движений, когда прессователь 4 занимает наклонное положение по отношению к вертикальной оси (см. рис.1.а), не возможно, что накладывает свою группу технологических ограничений.

Конструктивное объединение обкатывающих движений инструмента со строго вертикальным положением прижимного (фиксирующего) пуансона создает очевидные технологические преимущества [4].

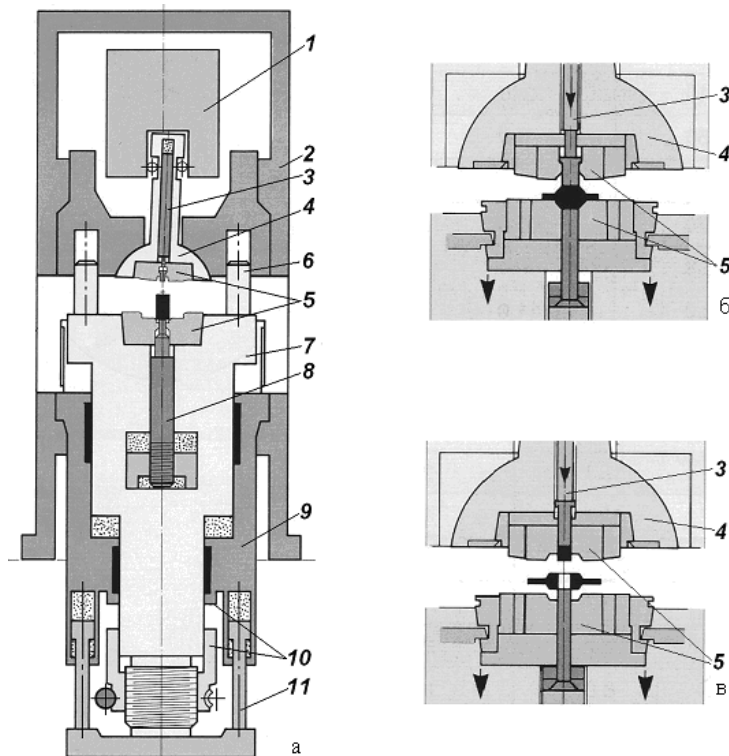


Рис. 1. Конструктивна схема преса для ШСО моделі Т-630 (а) і технологічні варіанти використання приводного пуансона для выталкивания детали из верхней полости штампа (б) или прошивки центрального отверстия (в) (где: 1 – привод механизма обкатывания; 2 – станина; 3 – верхний приводной пуансон; 4 – активный прессователь; 5 – инструмент; 6 – направляющие; 7 – ползун; 8 – нижний выталкиватель; 9 – корпус гидроцилиндра; 10 – упор; 11 – возвратные цилиндры)

Разработан оригинальный механизм обкатывания [5]. Механизм обкатывания (рис.2,а) состоит из корпуса 1, в котором установлен упорный 2 и радиальных 3 подшипниках прессователь 4. Прессователь 4 приводится во вращение от привода. Прессователь 4 имеет внутреннюю расточку с наклонной, относительно внешних поверхностей, осью. Во внутренней расточке прессователя 4 на упорном 5 и радиальном 6 подшипниках установлен с возможностью вращения подвижный пуансон 7, имеющий центральное сквозное отверстие. В корпусе 1 вдоль оси установлен привод фиксатора 8 (в данном случае в виде гидравлического цилиндра) с возможностью обеспечения движения фиксатора 9 вдоль оси механизма. Фиксатор 9 проходит через центральное отверстие подвижного пуансона 7, причем в нерабочем состоянии, когда ШСО не происходит, фиксатор 9 выступает за крайнюю рабочую кромку подвижного пуансона 7 на величину m . Для обеспечения нормальной работы фиксатора 9 на протяжении периода ШСО величина его перемещения k вдоль оси должна быть больше чем суммарная величина выступания фиксатора за крайнюю рабочую кромку подвижного пуансона m и рабочего хода пуансона 7 вдоль оси неподвижного штампа 10 за период обработки заготовки 11.

Устройство работает следующим образом: перед тем как подвижный пуансон 7 касается заготовки, фиксатор 9, который выступает за рабочую поверхность подвижного пуансона 7 на величину m , фиксирует заготовку 11. После прижима заготовки 11 проходит процесс пластичного деформирования до конечных размеров детали 12.

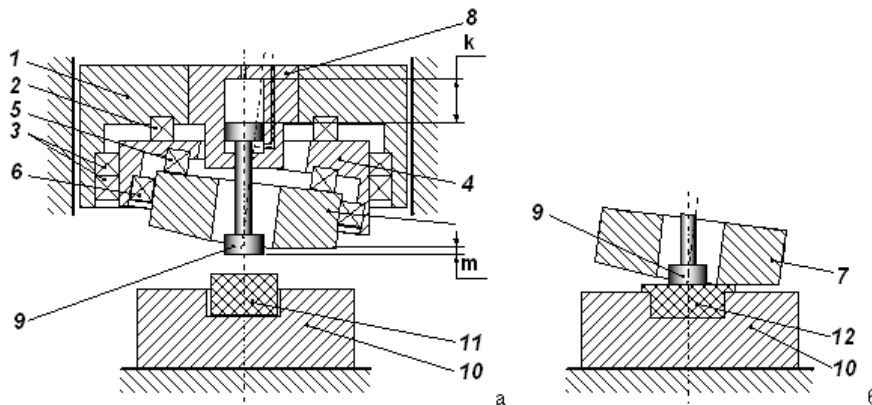


Рис. 2. Конструкция механизма обкатывания с устройством для центральной фиксации заготовки: а – начальная стадия обработки; б – конечная

На рис. 3,а изображен механизм фиксации: 1 – фиксатор; 2 – центрирующий поворотный узел; 3 – тяга; 4 – узел регулировки упругого усилия прижима. На рис.3,б изображен механизм фиксации, смонтированный в блоке для ШСО [6].

Изменения, внесенные в кинематическую схему механизма обкатывания, позволяют достичь новых качественных технологических возможностей. Данное устройство позволяет расширить технологические возможности оборудования и изготавливать изделия с новыми качественными характеристиками. Примером таких изделий являются моноблочные детали полупроводниковых приборов (тиристоров, диодов) таблеточного типа (см. рис.4,а) и детали теплообменников (рис.4,б). Качественной особенностью этой группы деталей является

объединенное (моноблочное) изготовление на стержневом основании фланца толщиной до 0,3...0,5 мм с точностью $\pm 0,01$ мм [2].

Эффективную отдачу также можно получить и при сочетании ШСО с другими технологическими приемами. Одним из таких направлений может служить комбинирование различных видов обкатывающих движений активного инструмента. В прессах Т200, Т400, Т630 "SCHMID" имеется возможность управления видом обкатывания, но в данном случае речь идет об их комбинировании во время рабочего хода, т.е. получении более сложных суммарных траекторий.

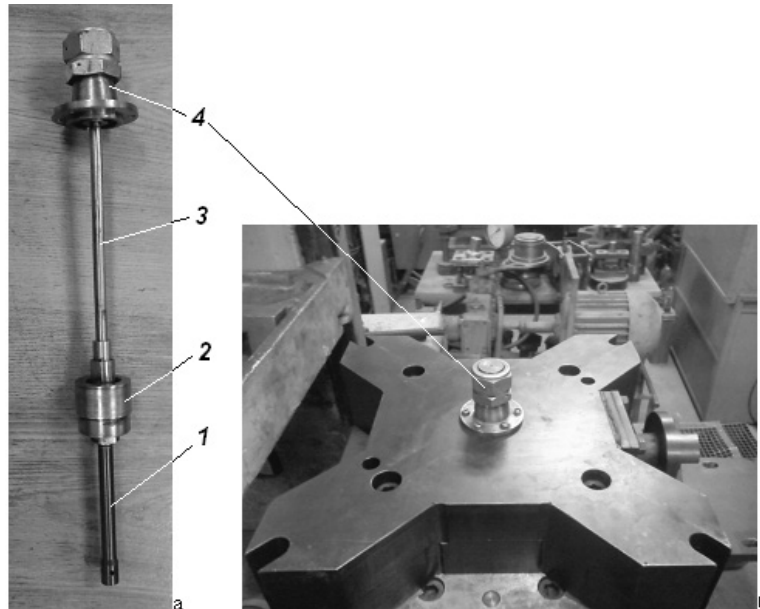


Рис. 3. Внешний вид механизма фиксации (а) и монтаж механизма фиксации в штамповый блок для ШСО

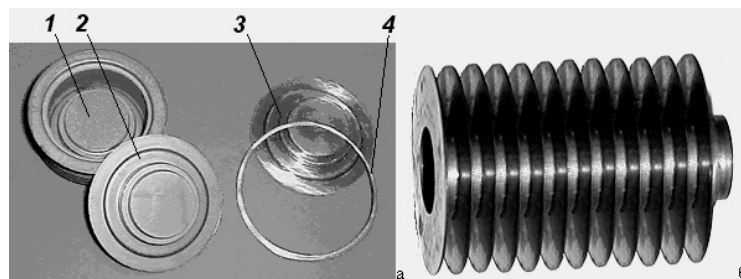


Рис. 4. Детали (1, 2 – готовые для сборки моноблочные детали; 3 – моноблочная деталь без покрытия; 4 – отход) диодов таблеточного типа (а) и теплообменников (б) изготавливаемые с центральной осевой фиксацией

В соответствии с технологическими требованиями, первоначальная заготовка, которая используется при осадке с обкатыванием, должна иметь соотношения $D/H \approx 1$ (где: D – диаметр заготовки; H – высота). Если заготовка с $D/H < 1$, то она теряет устойчивость из-за эксцентричного приложения технологического усилия. Осадка является наиболее распространенной операцией, в частности она протекает на начальной стадии объемной штамповки в штампе. По этой же причине возникает необходимость в высокой точности перпендикулярности торцов первоначальной заготовки, которые при $D/H \approx 1$, можно получить только специальными методами разделения прутка, что повышает затраты и снижает производительность. По этой причине использовать наиболее распространенный и дешевый метод рубки в штампе не возможно из-за искажений внешней формы и неперпендикулярности торца. На другие технологические операции (например, высадку, когда стержневая часть заготовки устанавливается в полость штампа такого же диаметра) это условие не распространяется.

Идея разработки состоит в том, что первоначальную заготовку 1 с соотношением размеров $1,25 > D_0/H_0 > 0,5$ (рис.5,а) соосно размещают в штампе 2. Задача центрирования заготовки в штампе решена в [7]. С вертикальной осью совпадает вершина O конусного пуансона 3 и его ось 4, которая на этом этапе имеет вертикальное положение. Конусный пуансон 3 имеет угол наклона образующей конуса α и выполняет в этот момент только движение приближения к штампу 2. Под действием механизма осевого приближения конусный пуансон 3 взаимодействует с заготовкой 1, равнодействующая осевого усилия 5 в этот момент также совпадает с осью штампа 2.

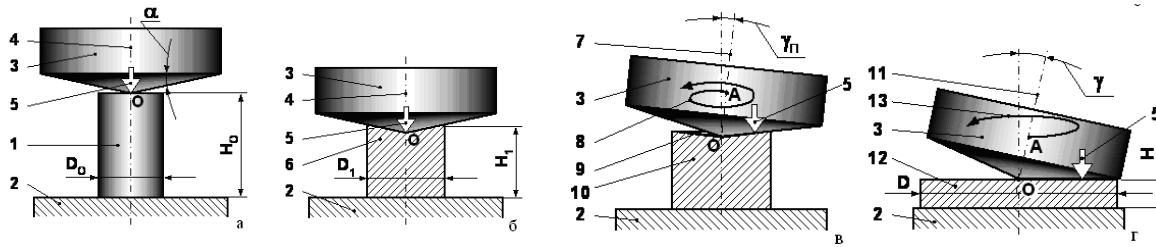


Рис. 5. Этапы протекания комбинированного процесса с ШСО (а – начальная стадия осадки; б – конечная стадия осадки; в – промежуточная стадия ШСО; г – окончательная стадия процесса)

Деформирование заготовки 6 (рис.5,б) выполняется между штампом 2 и конусным пуансоном 3, которые выполняют движение приближения, до соотношения размеров $1,2 > D_1/H_1 > 1,1$. Равнодействующая осевого усилия до этого момента совпадает с осью штампа 2.

Далее ось 7 конусного инструмента 3 постепенно наклоняется на текущий угол γ_n от нулевого значения до конечного значения (рис.5,в) относительно вершины конуса О и он, помимо движения приближения, совершает обкатывающее движение от действия механизма обкатывания. Траектория 8 точки А на оси 7 в плане будет иметь вид спирали. Равнодействующая осевого усилия 5 после образования угла γ_n не будет совпадать с осью штампа 2. Постепенно коническая лунка 9 заготовки 10 будет уменьшаться в соответствии с увеличением текущего значения угла γ_n . После достижения углом γ_n конечного значения $\gamma = \alpha$ лунка вырождается, одновременно достигается соотношение текущего соотношения размеров заготовки $D/H \approx 1$.

После достижения конечного значения угла γ наклона оси 11 конического пуансона 3 конечного значения $\gamma = \alpha$ верхний торец заготовки 12 будет паралелен нижнему (рис.5,г). Точка А на оси 11 будет в плане описывать траекторию 13 в виде окружности. Дальнейшее деформирование производится без изменения угла γ наклона оси 11 относительно точки О до требуемых размеров (D та H) заготовки 12, при этом соотношение ее размеров будет $D/H > 1$.

Описанная технология позволяет расширить технологические возможности ШСО из-за использования первоначальной заготовки с соотношением размеров в широком диапазоне и достижения большей степени деформирования. А также уменьшить себестоимость, благодаря использованию дешевых и производительных способов отделения единичной заготовки при достаточной производительности самого процесса, все этапы которого выполняются на одной технологической позиции.

В качестве исходной заготовки при ШСО может использоваться как цилиндрическая, так и кольцевая. Процесс обработки последней имеет ряд технологических преимуществ, но одновременно и специфические отличия, которые усложняют ее обработку. Сокращение технологического цикла ШСО и возможности автоматизации при обработке кольцевой заготовки достигаются при оснащении пресса комплексным совмещенным устройством для улавливания и удаления [8].

Технологический процесс протекает следующим образом. Начальному моменту отвечает крайнее нижнее расположение выталкивателя 1 и крайнее нижнее положение ловителя 2 (см. рис.6,а), каждый из которых имеет индивидуальный гидравлический привод в виде гидроцилиндра. Кольцевая заготовка 3 с помощью загружающего манипулятора 4 подается в штамповое пространство пресса до совпадения оси заготовки 3 с осью штампа 5. Затем ловитель 2 под действием привода выполняет движение вверх, проходит через отверстие заготовки 3 и занимает крайнее верхнее положение. Манипулятор 4 освобождается от заготовки 3 и покидает штамповое пространство для захвата следующей заготовки. Заготовка 3 направляемая и центрируемая ловителем 2 попадет в штамп 5.

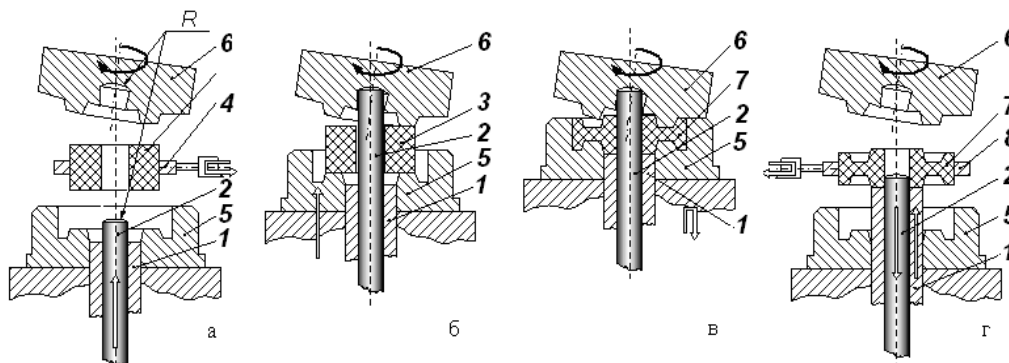


Рис. 6. Этапы протекания технологического процесса с использованием кольцевой заготовки: а – подача заготовки в рабочую зону; б – начало ШСО; в – конечная стадия ШСО; г – удаление детали из рабочей зоны

При осуществлении сближения первый контакт осуществится между ловителем 2 и инструментом 6 по сферическому дну конического отверстия радиусом R, такой же радиус имеет и верхний торец ловителя 2. Далее под действием технологического усилия ловитель 2 будет втапливаться в гидроцилиндр привода. С этого момента выполняется ШСО заготовки 3 активным инструментом 6 (рис.6,б). Т.к. технологическое усилие подвижное и направление его приложения не совпадает с центральной осью штампа 5, то возникает поперечная составляющая усилия, которая будет передаваться на ловитель 2. Диаметр ловителя 2 определяется не из условий прочности, а определяется технологически и соответствует диаметру внутреннего отверстия заготовки 3, поэтому благодаря

сферическому контакту ловителя 2 с инструментом 6 будет изменена схема его нагружения и величина изгибающего момента будет меньше в сравнении с консольной схемой.

Технологические нагружения прикладываются до момента формирования окончательных размеров детали 7 (рис.6,в). Ловитель 3 занимает положение, которое определяется инструментом 6. После этого выполняется обратный ход до размыкания инструмента 6 и штампа 5 необходимого для выгрузки детали 7 и загрузки новой кольцевой заготовки.

Под действием привода выталкиватель 1 переместится вверх на величину своего хода и извлечет из штампа деталь 7 за пределы зеркала штампа 5 и на соответствующую величину переместит ее вдоль ловителя 3 (рис.6,г). Разгружающий манипулятор 8 выполнит поперечное перемещение в штамповое пространство и захватит деталь 7, которая будет удерживаться ловителем 2 на уровне выталкивателя 1. Затем ловитель 2 под действием своего привода переместится в крайнее нижнее положение, выйдет из отверстия детали 7 и освободит ее. Манипулятор 8 выполнит обратное перемещение из штампового пространства с деталью 7 и в месте разгрузки освободится от нее. Ловитель 2 переместится в крайнее нижнее положение, все механизмы займут исходное положение для выполнения следующего цикла.

Предложенный автоматический цикл позволяет использовать манипуляторы с наиболее простым видом перемещений. А также позволяет в сочетании с использованием устройства съемника-ловителя повысить производительность оборудования за счет сокращения пауз на загрузку-выгрузку, ориентировочно на 15...20%.

В настоящий момент малоизученными, но многообещающими являются технологические эффекты, полученные от объединения штамповки с обкатыванием со штамповкой с кручением. Объединение этих способов реализуется при определенных кинематических параметрах протекания процесса и не требует дополнительных затрат.

При высадке фланца и осадке методом ШСО зарегистрированы скручивающие деформации. Анализ сил и моментов при ШСО (рис.7,а) дает основания для вывода, что реакция равнодействующего технологического усилия P_{II} приложенная эксцентрично на плече ρ создает скручивающий момент $M_{СК}$, который и вызывает закручивание стержневой части заготовки. В работе [9] также выявлены скручивающие деформации при обработке с обкатыванием.

Скручивающий момент $M_{СК}$ можно приравнять к моменту преодоления технологического сопротивления M (рис.7,а)

$$M = p_{CP} * \lambda * \pi * R^2 * \rho * \operatorname{tg} Q, \quad (1)$$

где: p_{CP} – среднее удельное давление на контакте;

ρ – плечо приложения равнодействующей технологического усилия, $\rho = \sqrt{x_C^2 + y_C^2}$; остальные обозначения по рис.7,а.

При наличии скручивающего момента первоначально возникают упругие деформации с максимальными касательными напряжениями на поверхности, которые линейно снижаются до нуля в центре [10]. При увеличении угла скручивания касательные напряжения достигают значения K (рис.7,б), после чего возникают пластические деформации. При последующем скручивании центральная часть будет находиться в упругом состоянии, а периферийная в пластическом (рис.7,в). Далее пластические деформации распространятся во всем сечении (рис.7,г).

Тогда скручивающий момент (все обозначения по схеме на рис.7,д) определяется

$$M_{СК} = 2\pi K \int_0^R \rho d\rho. \quad (2)$$

После интегрирования (2)

$$M_{СК} = \frac{2\pi R^3}{3} K = \frac{\pi R^3}{3} \sigma_S^*. \quad (3)$$

Приравняв (1) и (3) $M=M_{СК}$, имеем

$$p_C \lambda \pi R^2 \rho^* \operatorname{tg} Q = \frac{\pi R^3}{3} \sigma_S^* \quad (4)$$

Из (4) получим выражение для ограничения угла Q

$$\operatorname{tg} Q \leq \frac{1}{4(1-\lambda)} \quad (5)$$

Из (5) следует, что при угле меньшем, чем Q пластические скручивающие деформации отсутствуют. Если выразить угол Q через технологично-геометрические параметры процесса: подачу (S) и дугу контакта, то (5) приобретет вид

$$\frac{S}{R} \leq \frac{\pi}{2\lambda}. \quad (6)$$

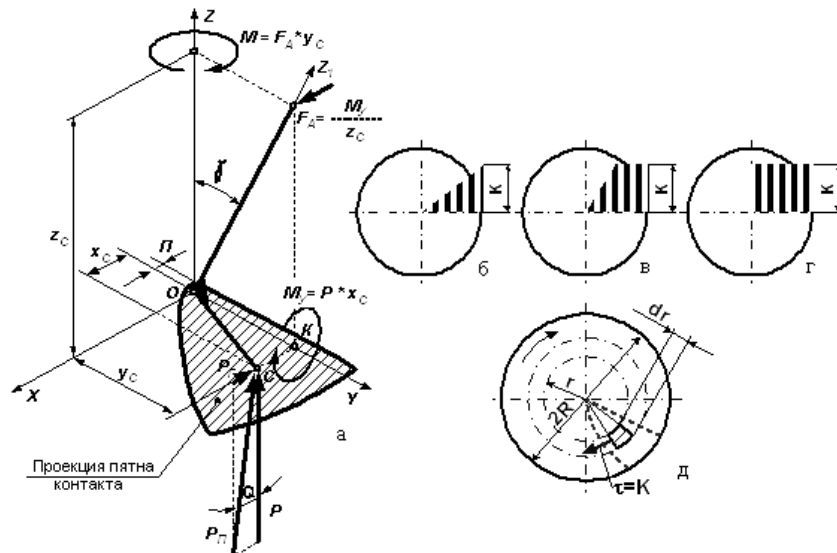


Рис. 7. Схема сил и моментов при ШСО (а), эпюры развития касательных напряжений с ростом скручивающих деформаций (б, в, г) и расчетная схема для определения скручивающего момента (д)

Соотношения (5) и (6) можно рассматривать с разных сторон. С одной, если наличие скручивающих деформаций не желательно, например, при формировании конструктивных элементов в виде ребер или выступов на боковой поверхности, то надо придерживаться соотношений (5) и (6). С другой стороны, можно объединить положительные эффекты двух технологических процессов – штамповки с обкатыванием и штамповки с кручением.

Выводы

Основными направлениями развития штамповки с обкатыванием являются:

1. Разработка механизма обкатывания с максимальными показателями эффективности. При этом эффективность кинематической схемы привода не отделима от его технологических возможностей.
2. Расширение возможностей оборудования и появление новых качественных эффектов за счет оснащения оборудования сравнительно простыми по конструкции приспособлениями технологического назначения.
3. Сокращение технологического цикла за счет автоматизации процесса при обработке цилиндрических и кольцевых заготовок.
4. Объединение штамповки с обкатыванием с другими технологическими процессами. В частности, малоизученными, но многообещающими являются технологические эффекты от объединения штамповки с обкатыванием со штамповкой с кручением.

Список литературы

1. Кривда Л.Т. Теория и практика штамповки обкатыванием (Монография) / Л.Т. Кривда; - К.: Аванпост, 1998. - 179 с.
2. Гожий С.П. Штамповка с обкатыванием как способ ресурсосбережения // С.П. Гожий, Л.Т. Кривда. Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2006. - № 2(46). - С. 55-60.
3. Пресс для холодной штамповки методом обкатки / Проспект фирмы «SCHMID». Heinrich Schmid Maschinen- und Werkzeugbau AG. CH-8640 Rapperswil/Schweiz. – 20 p.
4. Пат. 15245 Украина, МПК В21D 37/00. Способ изготовления деталей: Пат. 15245 Украина, МПК В21D 37/00 Л.Т. Кривда, С.П. Гожий (Украина); Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт". - №u20512822; Заявл. 29.12.2005; Опубл. 15.06.2006, Бюл. №6. – 6 с.
5. Пат. 31594 Украина, МПК В21D 37/04. Устройство для штамповки обкатыванием: Пат. 31594 Украина, МПК В21D 37/04 С.П. Гожий, Л.В. Довгалюк (Украина); Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт". - №u200714820; Заявл. 26.12.2007; Опубл. 10.04.2008, Бюл. №7. – 2 с.
6. Кривда Л.Т. Блок для штамповки обкатыванием усилием 300 кН. // Л.Т. Кривда, С.П. Гожий; Вестник Киевского политехнического института. Машиностроение. - 1993. - № 30. – С. 67-72.
7. Устройство для центрирования заготовок при штамповке. А. с. СССР № 1549641. МКИ В21D43/00 / Л.Т.Кривда, С.П. Гожий - № 4448416/25-27; Заявл. 27.06.88; Опубл. 15.03.90, Б.И. №10. -3 с.
8. Кривда Л.Т. Технологический процесс и оборудование для изготовления кольцевых деталей штамповкой с обкатыванием в автоматическом режиме. // Л.Т. Кривда, С.П. Гожий; Вестник Киевского политехнического института. Серия Машиностроение. - 2005. - № 46 - С. 31-33.
9. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке металлов давлением. (Монография) / В.А. Огородников; – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.
10. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением (Учебник) / М.В. Сторожев, Е.А. Попов; - М.: Машиностроение, 1977. - 424 с.