

УДК 621.983.04.002

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВЫРУБКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОЛИУРЕТАНОМ С ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ДЕФОРМАЦИОННО-СДВИГОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ

© 2009 Ю.В. Федотов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 20.07.2009

Представлена методика расчета силовых параметров высокоэффективных процессов вырубki листовых деталей давлением полиуретана. Методика учитывает особенности деформационного процесса листовой заготовки в очаге разделения и энергосиловые затраты на локальное формоизменение эластоплимерного инструмента, которые установлены на основании математического моделирования и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: процессы вырубki листовых деталей, давление полиуретана, деформационный процесс, энергосиловые затраты, эластоплимерный инструмент.

В заготовительно-штамповочном производстве предприятий машиностроения при изготовлении листовых деталей широкое применение находят различные методы разделительной штамповки. Наиболее эффективными из них, особенно в мелкосерийном производстве изделий, являются методы раскроя с использованием давления эластоплимерной среды (полиуретана). Данным методам характерны малые сроки подготовки производства, универсальность и простота реализации.

В целях интенсификации сдвиговых процессов разделительной штамповки деталей полиуретаном в НИИ "Технологии и проблем качества" Самарского государственного аэрокосмического университета разработано несколько способов вырубki-пробивки, отличающихся конструктивной схемой вырубного инструмента и обеспечивающих локализацию очага деформации материала заготовки (рис. 1), а именно:

- на шаблонах с эквидистантно расположенной опорной рамкой;
- с опорной рамкой, имеющей двойной скос и обеспечивающей боковое поджатие листовой заготовки;
- на локализованных шаблонах с дополнительной опорой и без нее (для группового раскроя деталей);
- на вырубном инструменте, обеспечивающим противодействие по детали или по отделяемому отходу.

Для создания методики расчета силовых параметров данных разделительных процессов было проведено математическое моделирование

*Федотов Юрий Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры "Производство летательных аппаратов и управление качеством в машиностроении".
E-mail: barvinok@ssau.ru.*

деформирования заготовки в очаге разделения. На рис. 2 приведены основные этапы деформирования заготовки при вырубке фрагмента детали на шаблонах с опорной рамкой.

Как видим из рис. 2 на начальной стадии процесса разделения наблюдается изгиб припуска вокруг опорной рамки до образования рифта определенной глубины и жесткости (стадия б), после чего с нарастанием локального давления полиуретана происходит сдвиг материала припуска по толщине заготовки (стадия в-г). Исходя из этого нетрудно предположить, что основными компонентами общего усилия разделения P_{Σ} будут следующие:

$$P_{\Sigma} = P_{CP} + P_{деф} + P_{п/у}, \quad (1)$$

где P_{CP} – усилие, затрачиваемое на срез заготовки по режущим кромкам вырубного инструмента;

$P_{деф}$ – компонент силовых затрат на деформирование припуска вокруг опорной рамки;

$P_{п/у}$ – усилие, затрачиваемое на локальное деформирование полиуретана при формоизменении припуска и его смещении по режущим кромкам вырубного инструмента.

Известно [2], что компонент P_{CP} можно представить для условий простого сдвига в виде следующего выражения

$$P_{CP} = 0.58 \cdot \sigma_B \cdot L(S-x) \left(\frac{x}{S \cdot \Psi_m} \right)^{\frac{\Psi_m}{1-\Psi_m}}, \quad (2)$$

где σ_B – предел прочности материала при растяжении;

L – длина линии разделения;

S – толщина материала заготовки;

x – величина внедрения вырубного инструмента в заготовку до образования скалывающей трещины;

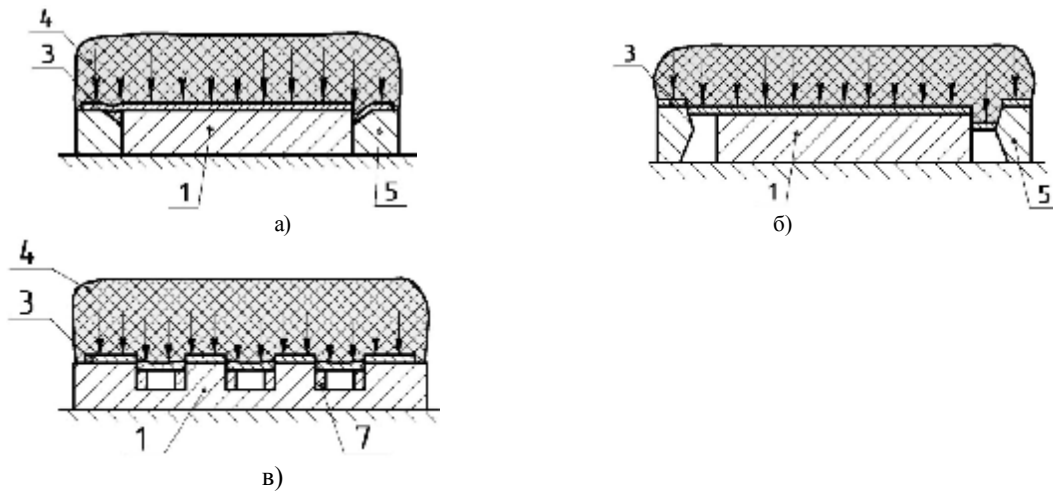


Рис. 1. Классификация методов разделительной штамповки в зависимости от конструктивного исполнения вырубного инструмента:

- а – с дополнительной опорой; б – с боковым обжатием заготовки;
- в – на групповом инструменте с локализацией очага деформации;

1 – вырубной инструмент, 2 – подкладные плиты, 3 – заготовка, 4 – полиуретан, 5 – опорная рамка, 6 – фрагмент контейнера, 7 – вкладыш

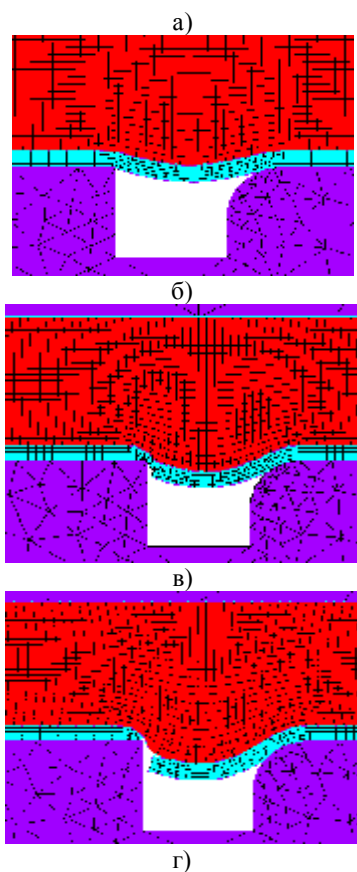


Рис. 2. Основные этапы разделения заготовки из сплава Д16АМ, $t = 1,5$ мм давлением полиуретана на шаблоне с опорной рамкой:

а – начальное положение элементов разделительной процесса; б – стадия завершения деформирования отхода (припуска) до момента возникновения скалывающей трещины; в – промежуточная стадия процесса разделения; г – завершающая стадия процесса разделения

ψ_m – относительное сужение материала заготовки. С другой стороны, компонент P_{cp} , можно представить выражением еще более простым для инженерных расчетов [2]:

$$P_{cp} = k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot L \cdot S, \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий неоднородность материала заготовки, притупление режущих кромок и др.;

σ_{cp} – сопротивление материала срезу при простом и чистом сдвиге.

Для подтверждения преобладания сдвигового характера разделения при вырубке листовой детали с опорной рамкой и другими способами (рис. 1) с локализацией очага деформации припуска заготовки в процессе численных исследований определялись компоненты главных деформаций в каждой узловой точке в очаге разделения материала заготовки. По значениям главных деформаций с использованием известного выражения [3] были рассчитаны показатели v_ε деформированного состояния заготовки в каждой узловой точке n_i очага деформации:

$$v_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_3 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}, \quad (4)$$

где ε_i – главные компоненты деформаций.

Для рассматриваемых способов вырубки (рис. 1) построены зависимости $n_i = f(n_\varepsilon)$ рис. 3.

Как видим из данных графических зависимостей разделение заготовки в очаге деформации для данных схем вырубки происходит в области сдвиговых процессов: от сдвига со сжатием в нижних узловых точках (n_1, n_2) проходя через зону чистого сдвига (n_3, n_4), до сдвига с растяжением в верхних узловых точках (n_5, n_6, n_7). Результаты

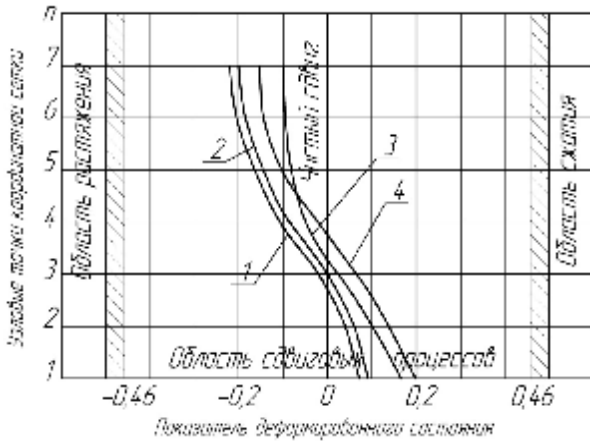


Рис. 3. Значения показателя деформированного состояния заготовки в очаге разделения листовой заготовки для основных схем вырубki деталей полиуретаном:

- 1 – при вырубке деталей с опорной рамкой; 2 – при вырубке на локализованном инструменте без промежуточной опоры; 3 – при вырубке деталей с боковым обжатием заготовки; 4 – при вырубке с противодавлением по отходу

математического моделирования подтверждены экспериментальными исследованиями с использованием метода координатных сеток [3].

Таким образом, подтвердив преобладание в рассматриваемых методах вырубki сдвигового характера разделения заготовки, можно принять за основу в вычислении компонента P_{cp} упрощенное выражение (3). Вместе с тем следует иметь в виду, что обрезка припуска в данных схемах вырубki осуществляется распределенным давлением полиуретана по площади смещаемого отхода по всему периметру вырубаемой детали. Поэтому необходимая составляющая давления полиуретана, которая затрачивается на срез материала заготовки, определяется следующим образом:

$$q_{cp} = \frac{P_{cp}}{F_{отх}} = \frac{k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot L \cdot S \cdot K_r}{L \cdot b} = \frac{k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot S}{b} \cdot K_r, (5)$$

где $F_{отх}$ – площадь отхода;

L – периметр контура обрезки детали;

b – ширина канавки (промежутка) между внутренним контуром опорной рамки и контуром вырубного инструмента (шаблона);

K_r – коэффициент, учитывающий кривизну геометрической формы вырубаемой детали.

$$K_r = \frac{R}{R + \frac{b}{3}} \text{ – для выпуклой формы геометрического контура детали;}$$

$$K_r = \frac{R}{R - \frac{b}{3}} \text{ – для вогнутой формы геометрического контура детали.}$$

Для определения компонента усилия $P_{деф}$

проведем аналогию процесса деформирования припуска вокруг опорной рамки (рис.1а) с процессом гибки-формовки борта по вогнутому контуру. Известно [4], что удельное усилие гибки-формовки эластопolyмерной средой криволинейного борта определяется как сумма двух компонент давления: давления необходимого для гибки борта по ребру матрицы (в данном случае по радиусу скругления опорной рамки r_1), и давления, необходимого для растяжения борта в тангенциальном направлении, т.е.

$$q_{деф} = \frac{\sigma_s \cdot S^2}{2 \cdot (b - r_1 \cdot \varphi)^2} + \frac{\sigma_s \cdot S}{R}, (6)$$

где σ_s – предел текучести материала листовой заготовки;

b – ширина борта (ширина паза между опорной рамкой и контуром вырубного шаблона);

r_1 – радиус скругления опорной рамки;

φ – угол гибки борта;

R – радиус кривизны опорной рамки.

Суммируя выражения (5) и (6), получим необходимое давление полиуретана по деформированию припуска заготовки при вырубке контура детали:

$$q_q = k_1 \frac{\sigma_{cp} \cdot S}{b} K_r + \frac{\sigma_s \cdot S^2}{2 \cdot (b - r_1 \cdot \varphi)^2} + \frac{\sigma_s \cdot S}{R}. (7)$$

Обеспечение уровня давления, рассчитанного по формуле (7), по площади отхода заготовки детали сопряжено с локальным формоизменением полиуретана при смещении отхода. Аналитического выражения для расчета энергосиловых затрат на локальное формоизменение полиуретана не существует. Поэтому было проведено математическое моделирование затекания полиуретана в круговое отверстие и щель различных геометрических размеров, в диапазоне известных значений давлений полиуретана применительно к операциям вырубki-пробивки.

Обработка результатов математического моделирования позволила получить графические зависимости приращения давления на локальное деформирование полиуретана от конструктивно-технологических факторов и уровня гидростатического давления полиуретана в момент локального отделения отхода (припуска заготовки), рис. 4.

Для удобства использования данных зависимостей в технологических расчетах проведена их аппроксимация компактной для записи логарифмической функцией следующего вида:

$$q_{п/у} = q_q \cdot \left(c + m \cdot \ln \frac{d_i(b_i)}{h_i} \right), (8)$$

где q_q – величина гидростатического давления полиуретана в момент локального деформирования и отделения отхода листовой заготовки;

d_i, b_i – геометрический параметр формы локального деформирования полиуретана (диаметр отверстия или круговой щели);

h_i – глубина локального деформирования полиуретана;

c и m – эмпирические коэффициенты, учитывающие геометрию контура локального деформирования, например:

для круговой щели $c = 0,89$ и $m = -0,2$

для кругового отверстия $c = 0,67$ и $m = -0,12$.

Таким образом, расчетную формулу для суммарного давления полиуретана при вырубке деталей на шаблонах с опорной рамкой можно представить в следующем виде:

$$q_{\Sigma} = q_q \cdot \left(1 + c + m \cdot \ln \frac{d_i(b_i)}{h_i} \right). \quad (9)$$

или в более развернутом виде:

$$q_{\Sigma} = \left(k_1 \frac{\sigma_{cp} \cdot S}{b} K_r + \frac{\sigma_s \cdot S^2}{2 \cdot (b - r_1 \cdot \varphi)^2} + \frac{\sigma_s \cdot S}{R} \right) \cdot \left(1 + c + m \cdot \ln \frac{d_i(b_i)}{h_i} \right), \quad (10)$$

Одним из эффективных методов разделительной штамповки, интенсифицирующим деформационно-сдвиговой процесс, является вырубка деталей полиуретаном с боковым обжатием заготовки [5, 6]. В конструктивно-технологической схеме данного способа вырубki используется опорная рамка, эквидистантно расположенная вокруг вырубного шаблона с некоторым зазором “b” и превышением Δh . При этом опорная рамка имеет двойную конусность с углами φ_1 и φ_2 , а также острую режущую кромку в сопряжении конусной и горизонтальной поверхностей, обращенных к заготовке. Конструктивно-технологическая схема реализации процесса вырубki данным способом представлена на рис. 5.

Процесс разделения по данной технологической схеме осуществляется следующим образом. На начальной стадии под действием распределенного давления эластичной среды происходит надрезка заготовки 2 режущей кромкой опорной рамки 4. Надрезанная заготовка перемещается по конической поверхности опорной рамки, в результате чего возникает боковой подпор по всему периметру заготовки, обеспечивающий повышение пластичности материал.

После соприкосновения заготовки с поверхностью вырубного шаблона под действием нарастающего давления эластичной среды наступа-

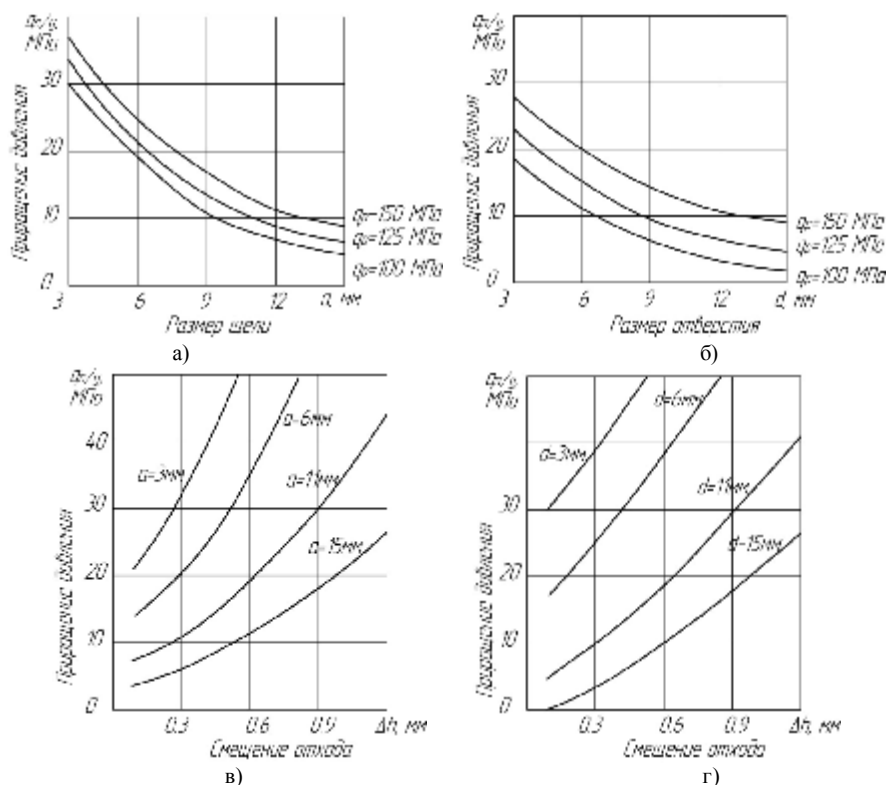


Рис. 4. Графические зависимости влияния конструктивно-технологических факторов на величину удельного усилия локального деформирования полиуретана при смещении отделяемого припуска листовой заготовки: а, в – при затекании в круговую щель; б, г – при затекании в круговое отверстие

ет стадия локального пластического сдвига припуска надрезанной части заготовки при постоянно возрастающем давлении бокового сжатия материала заготовки в очаге разделения. Причем высота пластического сдвига отхода зависит от механических характеристик материала заготовки и конструктивных параметров опорной рамки (Δh , φ_1 , b). Одновременно с процессом вырубki детали происходит сжатие и локальное перемещение эластичной среды.

Нетрудно показать, что начальная стадия процесса проходит при значительно меньшем давлении эластичной среды, которое не влияет на суммарное давление эластичной матрицы при раскрое контура детали в условиях бокового подпора заготовки. Поэтому структуру силовых затрат заключительной стадии процесса вырубki детали данным способом можно представить в следующем виде:

$$P_{\Sigma} = P_{CP} + P_{\delta.o.} + P_{П/У}. \quad (11)$$

где P_{CP} – усилие, затрачиваемое на срез надрезанной части припуска (отхода) по контуру вырубного инструмента (шаблона);

$P_{\delta.o.}$ – усилие сопротивления отхода его боковому обжатию и перемещению по конической поверхности опорной рамки;

$P_{П/У}$ – усилие, затрачиваемое на локальное формоизменение полиуретана при деформировании надрезаемой части припуска при его срезе и перемещении с боковым обжатием.

В компонентах давления выражение (11) можно переписать в виде:

$$q_{\Sigma} = q_q + q_{П/У}, \quad (12)$$

где

$$q_q = q_{CP} + q_{\delta.o.} \quad (13)$$

Компонент q_{CP} как и в предыдущем случае определяется выражением (5), т.к. процессу также характерен сдвиговой характер разделения.

Если провести аналогию деформационного процесса перемещения отхода по конической поверхности опорной рамки с прессованием ма-

териала через коническую матрицу, то компонент $q_{\delta.o.}$ можно представить в виде следующего выражения [2]:

$$q_{\delta.o.} = \sigma_s \left(\frac{1}{1 + \cos \varphi_1} + \frac{\mu_{mp} + 0,5}{2 \cdot \sin \varphi_1} \right) \ln \frac{F_1}{F_2}, \quad (14)$$

где φ_1 – угол конуса матрицы для прессования (в данном случае угол конусности опорной рамки);

μ_{mp} – коэффициент трения материала отхода заготовки по конической поверхности опорной рамки;

F_1 и F_2 – площади зеркала воронки конической матрицы (опорной рамки) в начале и в конце прессования (в данном случае при перемещении отхода в начале и в конце процесса разделения).

Численные исследования процесса разделения данным методом показали, что эффект бокового обжатия материала заготовки (отделяемого отхода), обеспечивающего сдвиговой характер вырубki и повышение качества детали, достигается уже при угле конусности опорной рамки φ_1 в пределах $1^\circ \dots 2^\circ$. При больших значениях угла φ_1 эффект сохраняется, но резко возрастает давление эластичной матрицы (полиуретана). С учетом сказанного выражение (14) упрощается, а именно:

$$q_{\delta.o.} = \sigma_s \left(1 + \frac{\mu_{mp} + 0,5}{2 \cdot \sin \varphi_1} \right) \ln \frac{F_1}{F_2}. \quad (15)$$

Таким образом, выражение (13) можно записать в развернутом виде:

$$q_q = k_1 \frac{\sigma_{cp} \cdot S}{b_i} K_r + \sigma_s \left(1 + \frac{\mu_{mp} + 0,5}{2 \cdot \sin \varphi_1} \right) \ln \frac{F_1}{F_2}. \quad (16)$$

Если учесть, что компонент $q_{П/У}$ также как и в предыдущем методе вырубki характеризует энергетические затраты на локальное формоизменение полиуретана при затекании в щель (в зазор между опорной рамкой и контуром вырубного инструмента (шаблона), то результирующее выражение для расчета давления полиуретана при вырубке детали с боковым обжатием заготовки может быть представлено в следующем виде:

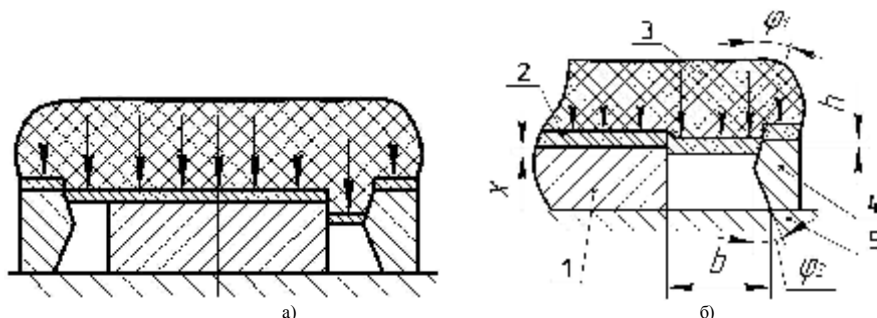


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема основных этапов вырубki деталей с боковым обжатием заготовки:

а – начальная и заключительная стадии процесса вырубki, б – промежуточная стадия процесса; 1 – вырубной шаблон, 2 – заготовка, 3 – полиуретан, 4 – опорная рамка, 5 – фрагмент технологической обоймы

$$q_{\Sigma} = \left(k_1 \frac{\sigma_{cp} \cdot S}{b_i} K_r + \sigma_s \left(1 + \frac{\mu_{mp} + 0,5}{2 \cdot \sin \varphi_1} \right) \ln \frac{F_1}{F_2} \right) \cdot \left(1 + c + m \cdot \ln \frac{d_i(b_i)}{h_i} \right) \quad (17)$$

Наиболее эффективным способом интенсификации деформационного сдвигового процесса при вырубке деталей эластичной средой является применение в конструктивной схеме вырубного инструмента элементов создания противодействия по площади смещаемого отхода (или детали). Технологические схемы процесса представлены на рис. 1. Использование известного принципа вырубки с противодействием применительно к разделительной штамповке эластичной средой дает положительный эффект в повышении качества по геометрическому контуру среза изготавливаемой детали. Улучшение качества достигается благодаря всестороннему предварительному сжатию заготовки эластичной средой, которое приводит к повышению пластичности материала. И к преобладанию сдвигового процесса разделения. Причем величина пластического сдвига материала заготовки значительно больше, чем при ранее рассмотренных методах разделительной штамповки. При этом вместе с разделительным процессом также происходит сжатие и локальное смещение эластичной среды.

На основании выше изложенного результирующее усилие вырубки деталей с противодействием можно представить в виде:

$$P_{\Sigma} = P_{CP} + P_{np} + P_{П/У}, \quad (18)$$

где P_{np} – усилие, затрачиваемое на предварительное сжатие заготовки и преодоление противодействия;

$P_{П/У}$ – усилие, затрачиваемое на локальное деформирование полиуретана по площади съемника (или выталкивателя) отхода заготовки.

Для компонентов давления результирующее выражение представляет собой следующее

$$q_{\Sigma} = q_{CP} + q_{np} + q_{П/У}. \quad (19)$$

По сути отличительным является компонент q_{np} , характеризующий противодействие. Результаты численных и экспериментальных исследований показали, что эффект противодействия в создании преобладания условий сдвига в разделии заготовки, достигается в диапазоне противодействия $q_{np} = (0,35...0,45)\sigma_b$ (предела прочности материала заготовки). Тогда результирующее выражение давления полиуретана при вырубке деталей с противодействием в развернутом виде запишется, как:

$$q_{\Sigma} = \left(k_1 \frac{\sigma_{cp} \cdot S}{b_i} K_r + (0,35...0,45)\sigma_b \right) \cdot \left(1 + c + m \cdot \ln \frac{d_i(b_i)}{h_i} \right), \quad (20)$$

где b_i - ширина съемника;

h_i - максимальное перемещение отхода до окончания процесса разделения.

Полученные выражения (10), (17) и (20), как показывает практика, вполне пригодны в расчетах давления эластоплимерной среды, необходимого для реализации рассмотренных процессов вырубки листовых деталей. Вместе с тем определяющим силовым параметром процесса разделительной штамповки, является усилие прессы, которое определяется простейшим выражением.

$$P = q_{\Sigma} \cdot F_{n/y}, \quad (21)$$

где $F_{n/y}$ – площадь контактной поверхности полиуретана с заготовкой и периферийной частью вырубного инструмента.

Однако, правильность оценки усилия прессы оборудования зависит от способа реализации процесса штамповки, а именно: в замкнутом объеме контейнера (рис. 6,а); при штамповке в полузамкнутом и открытом способах воздействия полиуретана на заготовку (рис.6, б, в), в том числе последовательным ротационным воздействием эластичного инструмента (рис.6, г) на заготовку.

Следует учесть, что при штамповке деталей в замкнутом объеме контейнера площадь контактной поверхности $F_{n/y}$ равна фактически площади торцевой поверхности полиуретановой “подушки” (или что одно и то же, площади подштамповой плиты) и является неизменной (постоянной) для конкретного типоразмера контейнера. Для открытых же схем разделительной штамповки (рис. 6, б, в, г) площадь контактной поверхности эластичного инструмента (полиуретановой матрицы) не постоянна и определяется уровнем давления эластичной среды, геометрической формой и масштабным фактором эластичного инструмента, условиями контактного взаимодействия эластомера с заготовкой вырубаемой детали и рядом других факторов. Поэтому в целях установления потребного усилия прессы оборудования при реализации процессов вырубки деталей полиуретаном с использованием открытых способов разделительной штамповки были проведены численные исследования контактного взаимодействия эластичного инструмента с заготовкой, его деформационные характеристики и изменение формы по площади контакта при различных уровнях давления эластоплимерной среды (полиуретана).

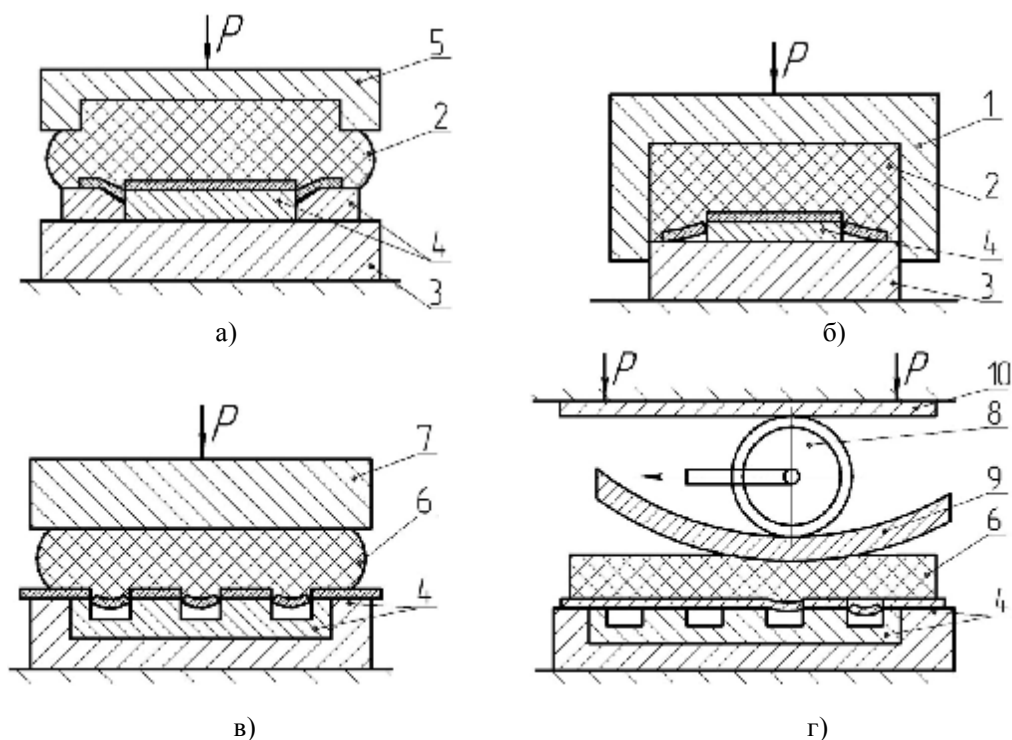


Рис. 6. Классификация методов разделительной штамповки в зависимости от способа передачи давления эластоплимерной среды на заготовку:

1 – контейнер, 2 – полиуретан, 3 – подштамповая плита, 4 – вырубной инструмент, 5 – силовая обойма, 6 – полиуретановая пластина, 7 – технологическая плита, 8 – силовой валок, 9 – силовой валок малой кривизны, 10 – траверса

Результаты исследований представлены в работах [7, 8]. Численными исследованиями установлено следующие: распределение контактного давления полиуретана по поверхности заготовки неравномерное; происходит увеличение площади контактной поверхности эластичного инструмента с заготовкой и периферийной частью оснастки; уровень неравномерности контактного давления зависит от диапазона значений вышеперечисленных факторов. Для практического использования результатов численных исследований получены диаграммы распределения контактного давления полиуретана по всей площади его поверхности для различных сочетаний конструктивно-технологических факторов, для различных геометрических и масштабного факторов эластичного инструмента (полиуретановых пластин): круглой, квадратной и прямоугольной. В качестве примера на рис. 7 представлены диаграммы распределения контактного давления эластичного инструмента для полузамкнутой схемы разделительной штамповки.

С учетом данных особенностей расчет потребного усилия прессового оборудования для открытых схем разделительной штамповки производится для фактической площади контактной поверхности эластичного инструмента и контактного давления эластомера применительно к со-

ответствующей диаграмме (рис. 7). При этом условием выбора оптимальной диаграммы распределенного давления является обеспечение минимально необходимого давления полиуретана рассчитанного по формулам (10, 17 или 20).

Разработанная методика оценки силовых параметров процессов разделительной штамповки давлением полиуретана апробирована при внедрении данной технологии на ряде предприятий аэрокосмической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинок В.А. и др. Высокоэффективные технологические процессы изготовления элементов трубопроводных и топливных систем летательных аппаратов. М.: Наука и технологии, 2002. 394 с.
2. Сторожев И.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1966, 367 с.
3. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.П. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1972, 360 с.
4. Исаченков Е.И. Штамповка резиной и жидкостью. – М.: Машиностроение, 1979, 520 с.
5. Федотов Ю.В. и др. Авторское свидетельство СССР № 1061891. Устройство для вырубке деталей из листового материала эластичной средой. Опубликовано в БИ, 1983, №47.
6. Барвинок В.А., Федотов Ю.В. и др. Исследование технологических возможностей вырубке деталей из малопластичных материалов эластичной средой // Проблемы

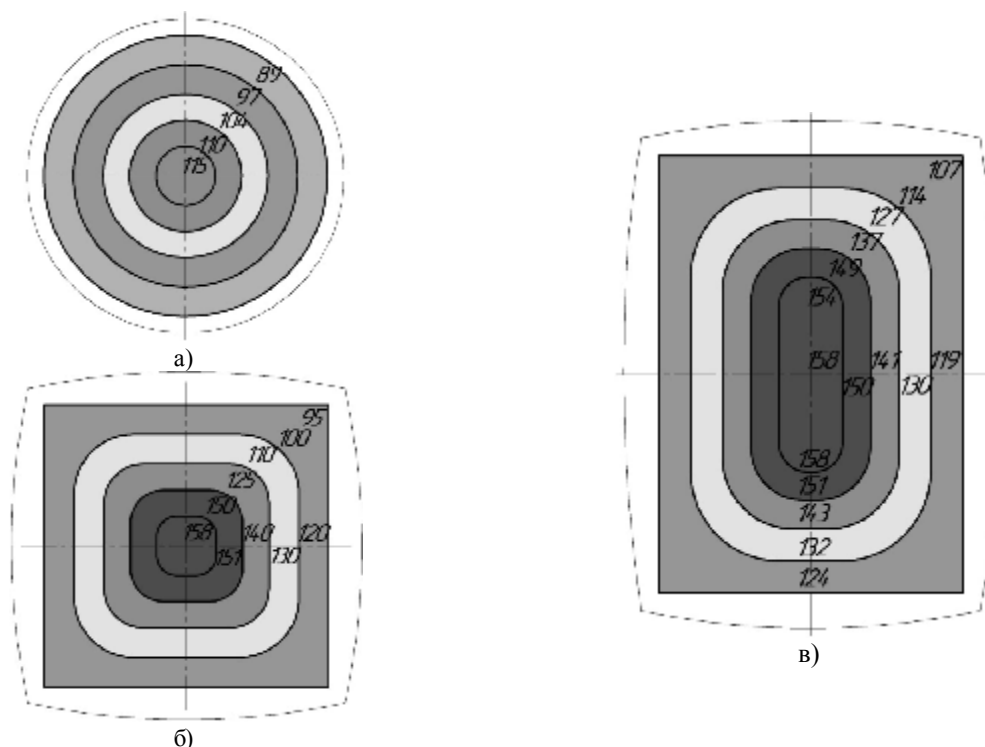


Рис. 7. Диаграммы распределения контактного давления эластичного инструмента для полузамкнутой схемы разделительной штамповки ($\epsilon=35\%$, $Dz=0,6$ мм; $f=0,3$; $\bar{H} = H/D(a)=0,033$):

а) полиуретановый элемент в форме круглой пластины $a = 300$ мм; б – полиуретановый элемент в форме квадратной пластины $a = 300$ мм; в – полиуретановый элемент в форме прямоугольной пластины $a = 200$ мм, $b = 300$ мм

машиностроения и автоматизации, 1997. №2. С. 73-76.

7. Барвинок, В.А., Федотов Ю.В., Громова Е.Г. и др. Математическое моделирование контактного взаимодействия эластоплимерной матрицы с листовой заготовкой в разделительных процессах // Актуальные проблемы трибологии. Сб. трудов международной научно-технической конференции. Июнь 2007. 2007. Т.1. С. 93-104.

8. Барвинок, В.А., Федотов Ю.В., Громова Е.Г. и др. Математическое моделирование контактного взаимодействия эластичного инструмента в процессах ротационного раскроя листовых деталей изделий машиностроения // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2008. №1. С. 128-132.

DETERMINATION OF POWER PARAMETERS OF SHEET DETAILS CUTTING BY POLYURETHANES WITH DISLOCATED DEFORMATION INTENSIFICATION OF SHEET MATERIAL SEPARATION

© 2009 J.V. Fedotov

Samara State Aerospace University

Sheet details slashing (cutting) by polyurethanes high-performance processes power parameters estimation method is presented. By using mathematical analysis and experimental investigations the method considers features of sheet material deformation process in a separation focus and power expenses for elastic agent local formation.

Key words: polyurethanes high-performance processes, power parameters, power expenses, elastic agent.

Juriy Fedotov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Manufacturing and Engineering Quality Management. E-mail: barvinok@ssau.ru.