

М 467038
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

РЯБЫХ Александр Анатольевич

УДК 621.961.2

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ПРОБИВКИ
МАЛЫХ ОТВЕРСТИЙ ЭЛАСТИЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины
обработки давлением

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1987

Работа выполнена в Кузбасском ордена "Знак Почета"
инженерно-строительном институте имени А.И.Микояна

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Попов Е.А.

Официальные оппоненты- Доктор технических наук,
профессор Попов О.Б.

- кандидат технических наук,
доцент Кулик Ю.П.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного
совета

Защита состоится "11" ноября 1987г. на заседании
специализированного совета К 053.15.13 Московского ордена
Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного
Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-ая Бауманская улица, д.5

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный
печатью просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан "9" октября 1987г.

Учен
кандидат

Н

М467038

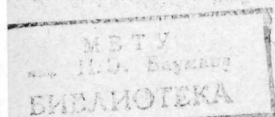
Актуальность темы. Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1985-1990 г.г. и на период до 2000 года поставлены задачи значительного повышения производительности труда и внедрения высокоэффективных, безотходных и энергосберегающих технологий, обеспечивающих высокое качество изделий, экономии материальных и трудовых ресурсов. Особое внимание уделяется внедрению гибкой технологии, позволяющей быстро и эффективно перестраивать производство на изготовление новой продукции.

В области разделительных операций листовой штамповки гибкая технология подразумевает замену одной части специального инструмента универсальным, в частности, эластичным, что значительно снижает трудоемкость проектирования и изготовления оснастки, а также ее металлоемкость. При этом наибольший эффект от применения эластичного инструмента достигается при вырезке деталей с небольшими отверстиями, когда инструментальные штампы особенно сложны. Однако в отечественной и зарубежной литературе недостаточно освещены вопросы пробивки малых отверстий эластичным инструментом. Не решен вопрос о механизме разделения металла при пробивке малых отверстий эластичным инструментом, отсутствуют научно обоснованные рекомендации по определению важнейших технологических параметров процесса, что сдерживает широкое внедрение процесса в производство.

Поэтому разработка инженерной методики расчета основных технологических параметров процесса пробивки малых отверстий эластичным инструментом на основе теоретического и экспериментального исследования процесса является актуальной задачей, позволяющей существенно расширить границы применения процесса.

Цель работы. Разработка инженерных методов расчета технологических параметров процесса пробивки малых отверстий в листовом металле эластичным инструментом, на основе теоретического и экспериментального анализа механизма деформирования эластомера и заготовки и закономерностей формирования поверхности среза, позволяющих получить детали с высокой степенью точности.

Методы исследований. Теоретические исследования процесса пробивки малых отверстий эластичным инструментом выполнены методами теории пластичности и теории упругости.



М467038

В экспериментальных исследованиях использовались следующие методы: метод координатных сеток, поляризационно-оптический метод, метод химического травления образцов для изучения макро-структуры.

Параметры качества поверхности разделения измерялись на инструментальном микроскопе УИМ-2И "Цейсс". Эксперименты проводились на поляриметрах КСП-7 и "Цейсс-300", на разрывной машине усилием 200 кН и гидравлическом прессе БКК-200 М, с использованием стандартной тензометрической аппаратуры.

Научная новизна. Теоретически и экспериментально решена актуальная задача об определении напряженно-деформированного состоянии эластомера и заготовки в процессе пробивки малых отверстий при их совместном деформировании. В результате получены формулы: для определения давления пробивки отверстия, учитывая свойства эластомера и заготовки; для определения глубины и глубины выпучивания заготовки в отверстие шаблона.

Вскрыт механизм деформирования и разрушения заготовки при пробивке малых отверстий эластичным инструментом.

Выявлены и проанализированы факторы, влияющие на величину отклонения размеров, пробитого отверстия от отверстия в вырезном шаблоне.

Практическая ценность. Разработаны рекомендации по определению технологических параметров процесса пробивки малых отверстий эластичным инструментом, что способствует более широкому внедрению процесса в производство.

Рекомендации и формулы по определению величины отклонения размеров детали от размеров шаблона позволяют корректировать размеры шаблонов для получения деталей с заданной точностью.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены на заводе железобетонных изделий Л. 8 Куйбышевского агропромышленного комплекса. Экономический эффект от внедрения 25200 руб в год.

Апробация работы. Материалы исследований и диссертация в целом доложены и обсуждены на III и IV научно-технических конференциях штамповщиков Западного Урала в 1975 и 1978 г.г., на научно-технических конференциях Куйбышевского инженерно-строительного института им. А. И. Микояна в 1985-1986 г.г., а также на научно-техническом семинаре кафедры АМ-6 МЭТУ им. Н. Э. Баумана.

Разработанный технологический процесс демонстрировался на ВДНХ СССР, где отмечен серебряной и бронзовой медалями.

Результаты разработок были частично использованы при написании РТИ И516-75 "Вырезка и пробивка деталей из листа полиуретаном".

Публикации. Содержание основных положений диссертационной работы отражено в 4 работах, список которых приведен в конце реферата.

Объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 209 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и заключения. Содержит 19 таблиц, 89 рисунков, список литературы 129 наименований и три приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан краткий анализ способов выполнения разделительных операций в мелкосерийном производстве с использованием энергии взрыва, магнитно-импульсного поля, электрогидравлического эффекта и т.д. Показаны их преимущества, недостатки и области рационального применения.

Отмечено, какое место в ряду этих способов занимает вырезка-пробивка из листового металла эластичным инструментом на универсальном прессовом оборудовании. Способ характеризуется простотой оснастки и для внедрения не требует дополнительных капитальных вложений.

Приведен разработанный на основе опыта внедрения классификатор типовых операций вырезки деталей эластичным инструментом с указанием предельных толщин материалов, схем оснастки и необходимых технологических приемов для получения деталей высокого качества.

В этой же главе рассмотрено современное состояние теории пробивки отверстий эластичным инструментом. Отмечено, что во всех рассмотренных работах имеется один общий недостаток. Процесс пробивки отверстий в них рассматривается в отрыве от геометрических размеров отверстия. Но при различных соотношениях между диаметром пробиваемого отверстия и толщиной заготовки, напряженно-деформированное состояние заготовки будет различным. А механическое перенесение одной рассмотренной схемы на все другие приводит к ошибкам и погрешностям.

Ни в одной из рассмотренных работ не предложено экспериментально или теоретически подтвержденной модели деформирования и разрушения заготовки при пробивке отверстий эластичным инструментом.

Попытки учесть влияние свойств эластомера на протекание пробивки отверстий в большинстве работ носит эмпирический характер. Причем деформирование эластомера рассматривается в отрыве от деформирования заготовки.

Отсутствуют рекомендации по определению таких технологических параметров, как глубина выпучивания заготовки, глубина резания и т.п.

В соответствии с результатами анализа и обзора, а также исходя из поставленной цели, сформулированы задачи исследований:

1. Выявление механизма деформирования эластомера и заготовки в процессе пробивки малых отверстий эластичным инструментом и проведение классификационного деления отверстий на большие и малые в зависимости от геометрических соотношений и напряженно-деформированного состояния заготовки.

2. Теоретическое и экспериментальное определение напряженно-деформированного состояния эластомера и заготовки при их раздельном и совместном деформировании.

3. Получение расчетных формул для определения давления необходимого для пробивки отверстия, учитывающих влияние свойств эластомера.

4. Разработка методов определения глубины выпученной части заготовки и глубины врезания кромки шаблона в заготовку при пробивке малых отверстий.

5. Разработка методики и проведение экспериментальных работ по определению напряженного состояния эластомера при пробивке отверстия.

6. Экспериментальное определение факторов, влияющих на точность пробиваемых отверстий.

7. Внедрение результатов исследований в производство.

Во второй главе рассмотрены физические основы процесса пробивки отверстий эластичным инструментом.

Процесс пробивки отверстий эластичным инструментом характеризуется той особенностью, что при его проведении осуществляется взаимодействие двух разнородных сред: эластомера, обладающего упругими свойствами и пластически деформируемой

металлической заготовки. Поэтому необходимо рассматривать не только поведение заготовки, но и выявить напряженно-деформируемое состояние эластомера. Однако расчет эластомера невозможно провести без принятия определенных допущений, которые наиболее целесообразно принять исходя из анализа свойств эластомеров, применяемых для штамповки.

В результате анализа работ, посвященных исследованиям свойств эластомера, определено, что хотя упругие свойства эластомера отличаются явно выраженной нелинейностью, однако, по данным многих исследователей, для деформаций эластомера в пределах до 40–60% связь между напряжениями и деформациями носит линейный характер. Поэтому для функциональной связи между напряжениями и деформациями может быть использован закон Гука, так как при пробивке отверстий деформации эластомера лежат в пределах 10–15%.

Но в связи с тем, что эластомеры можно считать несжимаемыми (эксперименты Холта и Макферсона) и, следовательно, коэффициент Пуассона равен 0,5, необходимо, следуя Лавенделлу Э.Э., ввести в закон Гука функцию гидростатического давления и учесть условие постоянства объема.

Важным вопросом является определение коэффициента трения эластомера по металлу. Проведенные нами эксперименты показали, что величина коэффициента трения Кулона эластомера по металлу зависит от величины приложенного давления. С ростом давления его величина уменьшается гиперболически и при давлении 60–70 МПа коэффициент трения $\mu = 0,02 \pm 0,03$.

Для определения деформированного состояния эластомера в процессе пробивки отверстий было использовано свойство оптической прозрачности полиуретанов. Применение метода координатных сеток и прозрачных плоских моделей позволило определить деформированное состояние эластомера при его выдавливании в отверстия различного диаметра. Показано, что деформации локализуются вблизи отверстия вырезного шаблона на расстояниях, примерно равных $2 \pm 2,5$ радиуса отверстия.

Сдвиговые деформации равны нулю на оси симметрии, имеют максимум в зоне режущей кромки шаблона, а над поверхностью вырезного шаблона остаются приблизительно постоянными.

Статистическая обработка результатов замера координатной сетки дала возможность получить закон изменения осевого пере-

мещения в функции координат

$$W = W_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R_1^2}\right) \left(1 - \frac{z}{H_1}\right) + W_0 \frac{z}{H_1},$$

где $W_{\max}$ — максимальная глубина выпучивания эластомера в отверстие шаблона;

R_1 — радиус отверстия в шаблоне;

H_1 — высота эластичного блока в контейнере;

W_0 — перемещение контейнера при выдавливании эластомера в отверстие шаблона;

r, z — координаты цилиндрической системы координат.

Между $W_{\max}$ и W_0 имеется связь

$$W_{\max} = 2 \frac{R_0^2}{R_1^2} W_0,$$

где R_0 — радиус контейнера.

Были проведены экспериментальные исследования по определению характера деформирования и разрушения заготовки в процессе пробивки отверстия. В результате выявлено, что при отношении диаметра отверстия к толщине заготовки $d/S \leq 1,5+2,0$ преобладающей деформацией при деформировании и разрушении заготовки является сдвиг по режущей кромке шаблона. Такие отверстия предложено относить к "весьма" малым.

При $2,0 < d/S \leq 20+25$ заготовка деформируется и разрушается в результате совместного действия растягивающих касательных напряжений. При этом, в зависимости от отношения высоты шаблона к диаметру пробиваемого отверстия возможна пробивка в один и в два этапа. Отверстия с такими соотношениями размеров классифицированы, как малые. И при $d/S > 25$ преобладающей деформацией является растяжение. Такие отверстия отнесены к большим. Показано, что при пробивке малых отверстий необходимо стремиться к пробивке в один этап, то есть, чтобы разрушение заготовки происходило в момент касания ее наиболее выгнутой частью подштамповой плиты.

Для определения взаимного влияния растягивающих и сдвигающих напряжений при пробивке малых отверстий и выявления механизма деформирования и разрушения заготовки были проведены замеры глубины врезания "X" и глубины выпучивания заготовки $W_{\max}$, а также изучение макроструктуры деформированных и разрушенных образцов.

Исследования проводились для различных соотношений между диаметром отверстия и толщиной заготовки.

Выявлен следующий механизм деформирования и разрушения заготовки при пробивке малых отверстий. При приложении к заготовке давления эластомера режущая кромка начинает врезаться в тело заготовки и одновременно осуществляется выпучивание заготовки в отверстие шаблона. По мере увеличения выпученной части заготовки растут растягивающие напряжения. При этом с ростом растягивающих напряжений касательные напряжения, вызывающие врезание режущей кромки будут уменьшаться. Наконец, при определенной высоте выпученной части заготовки, растягивающие напряжения достигнут предельных значений и произойдет разрыв заготовки по ослабленному врезанием сечению.

В третьей главе проведено теоретическое исследование процесса пробивки малых отверстий эластичным инструментом.

Решение контактной задачи о взаимодействии упругой среды и пластически деформируемой заготовки является довольно сложной проблемой. Поэтому было принято решение рассмотреть вначале напряженно-деформированное состояние эластомера при выдавливании его в отверстие вырезного шаблона. А затем на напряженно-деформированное состояние эластомера наложить сопротивление деформированию заготовки. Очевидно, что деформированное состояние эластомера будет определяться свойствами заготовки, которые определяют глубину выпучивания ее в отверстие шаблона.

При анализе напряженно-деформированного состояния эластомера принято, что он заключен в цилиндрический жесткий контейнер с внутренним радиусом R_0 и ограничен с одной стороны дном контейнера, а с другой вырезным шаблоном с отверстием, радиус которого R_1 . Эластомер условно разбит на две части: цилиндр, радиусом R_1 и высотой H_1 и кольцо толщиной $(R_0 - R_1)$ и высотой H_1 . При анализе использована зависимость, определяющая осевое перемещение, полученная в главе 2.

Использование условия постоянства объема и связи деформаций с перемещениями показали, что деформированное состояние эластомера полностью определяется следующими выражениями:
Перемещения

$$W_z = - \left[W_0 \frac{z}{H_1} + W_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R_1^2} \right) \left(1 - \frac{z}{H_1} \right) \right]; \quad u = \frac{W_0 r}{2H_1} - \frac{W_{\max} r}{2H_1} \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{4R_1^2} \right);$$

$$(0 \leq r \leq R_1)$$

$$W_z = -W_0 \frac{z}{H_1}; \quad U = \frac{W_0}{2H_1} \left(r - \frac{R_0^2}{r} \right); \quad (R_1 \leq r \leq R_0)$$

Деформации

$$\varepsilon_z = -\frac{W_0}{H_1} + \frac{W_{\max}}{H_1} \left(1 - \frac{r^2}{R_1^2} \right); \quad \varepsilon_r = \frac{W_0}{2H_1} - \frac{W_{\max}}{H_1} \left(\frac{1}{2} - \frac{3r^2}{4R_1^2} \right);$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{W_0}{2H_1} - \frac{W_{\max}}{H_1} \left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{4R_1^2} \right); \quad \gamma_{rz} = \frac{2W_{\max}r}{R_1^2} \left(1 - \frac{z}{H_1} \right);$$

(0 ≤ r ≤ R₁)

$$\varepsilon_z = -\frac{W_0}{H_1}; \quad \varepsilon_r = \frac{W_0}{2H_1} \left(1 + \frac{R_0^2}{r^2} \right); \quad \varepsilon_\theta = \frac{W_0}{2H_1} \left(1 - \frac{R_0^2}{r^2} \right);$$

$$\gamma_{rz} = \frac{2W_{\max}}{R_1} \left(1 - \frac{z}{H_1} \right).$$

(R₁ ≤ r ≤ R₀)

Использование закона Гука, уравнений равновесия и граничного условия, что на свободной поверхности выдавленного мениска осевые напряжения $\sigma_z = 0$, позволило получить аналитические зависимости для определения осевого (σ_z), радиального (σ_r) и тангенциального напряжений (σ_θ).

Анализ деформирования и разрушения заготовки проводился сначала без учета врезания с использованием уравнений равновесия по безмоментной теории оболочек, условия пластичности и степенной аппроксимации диаграммы истинных напряжений первого рода.

При этом получены выражения связывающие величину давления с максимальной глубиной выпучивания, геометрией заготовки и ее свойствами.

Затем проводился анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в зоне режущей кромки. Оценивалось взаимное влияние касательных и растягивающих напряжений. Показано, что в соответствии с экспериментальными исследованиями, окончательное разьединение металла происходит в результате действия растягивающих напряжений.

В результате анализа получены аналитические зависимости определяющие глубину врезания, максимальную глубину выпучивания и предельное давление, при котором происходит разрушение заготовки по режущей кромке, эти величины являются основными технологическими параметрами процесса.

Глубина врезания χ заготовки определяется следующим выражением

$$\chi = S_0 - \frac{2C\left(\frac{4}{3}\varepsilon_1\right)^n S_0 (1 - 2\varepsilon_1) W_{\max}}{G_0 R_1 \cos \alpha}$$

где C и n - модуль и показатель упрочнения материала заготовки при степенной аппроксимации диаграммы упрочнения;

S_0 - исходная толщина заготовки;

$\varepsilon_1 = \frac{W_{\max}}{R_1^2}$ - относительная деформация выпученной части заготовки;

G_0 - предел прочности.

Анализ совместного деформирования эластомера и заготовки проводился по той же методике, что и для выдавливания эластомера в отверстие шаблона. Единственное отличие в том, что в граничных условиях учтено, что на границе выдавленного меншка эластомера осевое напряжение равно не нулю, а сопротивлению деформированию заготовки, определенному выражением связывающим давление с максимальной глубиной выпучивания заготовки.

В результате определено, что деформированное состояние эластомера при этом определяется теми же выражениями, что и при деформировании эластомера без заготовки. Действующие напряжения отличаются на величину сопротивления заготовки деформированию. Например:

$$G_z = - \frac{8G_0 R_1^2 W_0}{R_1^4} \left(z^2 - \frac{z^2}{2H_1} \right) - \frac{8G_0 R_1^2 W_0}{R_1^4} \left[W_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R_1^2} \right) + \frac{W_{\max}^2}{2H_1} \left(1 - \frac{r^2}{R_1^2} \right)^2 \right] - \frac{4C\left(\frac{4W_{\max}}{3R_1^2}\right)^n S_0 \left(1 - 2\frac{W_{\max}}{R_1^2} \right) W_{\max}}{R_1^2};$$

$$0 \leq r \leq R_1$$

$$G_z = - \frac{2G_0 W_{\max}}{R_1 r} \left(z^2 - \frac{z^2}{2H_1} \right) - \frac{4C\left(\frac{4W_{\max}}{3R_1^2}\right)^n S_0 \left(1 - 2\frac{W_{\max}}{R_1^2} \right) W_{\max}}{R_1^2} - \frac{4G_0 R_1^2 W_0 H_1}{R_1^4} + \frac{G_0 W_{\max} H_1}{R_1 r}.$$

$$R_0 \leq r \leq R_1$$

где G_0 - модуль упругости эластомера.

Аналогичные выражения получены для радиального σ_r и тангенциального σ_θ напряжений. Для построения поля напряжений разработаны алгоритм и программа на языке "Бейсик".

Использование того факта, что на верхней границе эластомера, при $z = H$, осевое напряжение равно внешней распределенной нагрузке, дало возможность получить формулы для определения давления, которое необходимо приложить к эластомеру для выпучивания заготовки, а также для ее разрушения по режущей кромке вырезного шаблона.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям процесса пробивки малых отверстий эластичным инструментом. При этом наиболее важным в данном исследовании было определение напряженного состояния эластомера, сравнение его с полученным теоретически и определение соответствия принятых допущений реальному процессу.

Наиболее подходящим для этой цели является поляризационно-оптический метод исследования напряжений на плоских моделях. Так как некоторые полиуретаны, применяемые в листовой штамповке, являются оптически активными, изотропными, то это позволяет использовать их, как высококачественные, оптически чувствительные материалы в поляризационно-оптическом методе исследования напряжений. При этом можно выдержать полное геометрическое и физическое подобие.

Была разработана методика исследований, включающая технику эксперимента, тарировку оптически чувствительного материала и количественную обработку результатов эксперимента.

При исследованиях снимались и расшифровывались картины изохром и изоклин на разных этапах нагружения, для различных соотношений диаметра отверстия и толщины заготовки и разных высот эластичных блоков.

На рис. I показана эпюра распределения нормальных σ_x , σ_y и касательных τ_{xy} напряжений в эластомере в зоне контакта с вырезным шаблоном, при выдавливании его в отверстие шаблона без заготовки.

В результате проведенных исследований подтверждено, что качественно поле напряжений, определенное теоретически, соответствует полученному с использованием поляризационно-оптического метода. Некоторые отклонения могут быть объяснены тем, что при теоретическом анализе не учитывалось трение эластомера о заготовку и стенки контейнера.

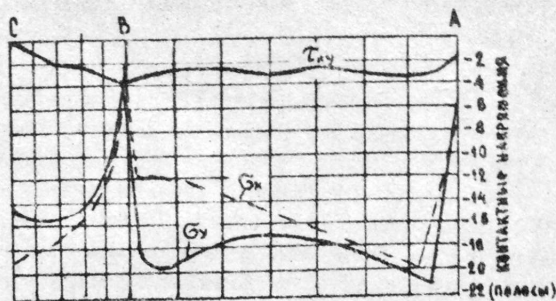


Рис. I. Распределение напряжений в эластомере при выдавливании его в отверстие вырезного шаблона (участок AB - зона поверхности шаблона, BC - зона отверстия)

Во второй части главы проводилась экспериментальная проверка, полученных формул для определения основных технологических параметров процесса, таких как глубина врезания, глубина выпучивания и давление, необходимое для выпучивания и разрушения заготовки. Расхождение расчетных и экспериментальных величин при этом не превысило 10-20%, что является вполне допустимым для практических расчетов.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию точности отверстий, пробиваемых эластичной средой.

Под точностью при вырезке деталей принято понимать степень приближения формы и размеров, полученных деталей, к заданным на чертеже форме и номинальным размерам. Отсюда следует, что для получения деталей с заданной точностью необходимо выявить и проанализировать факторы, влияющие на величину отклонения размеров пробитого отверстия от размеров шаблона.

Для снижения степени влияния неконтролируемых факторов исследования проводились с использованием методов планирования факторного эксперимента.

В результате исследований определено, что наиболее значимое влияние на величину отклонения размера пробитого отверстия от размеров шаблона оказывают следующие факторы:

- I) диаметр отверстия;

- 2) толщина материала детали;
- 3) физико-механические свойства материала детали;
- 4) твердость эластомера;
- 5) затупление режущей кромки.

При этом определено, что отверстия на детали всегда получаются меньше, чем отверстие в вырезном шаблоне. Увеличение диаметра пробиваемого отверстия уменьшает величину отклонения. Однако при $d/s > 25$ влияние диаметра перестает сказываться и величина отклонения остается постоянной. Повышение пластических свойств материала детали, уменьшение твердости эластомера и увеличение толщины заготовки увеличивает величину отклонения размеров детали от размеров шаблона. При этом твердость эластомера сказывается лишь при пробивке весьма малых отверстий.

Использование методов математической статистики и анализ указанных факторов позволили получить эмпирическую формулу для определения величины отклонения размеров пробитого отверстия от отверстия в шаблоне.

$$\Delta_0 = K_k [0,055 \cdot \exp(-0,3d) + 0,426,5\%],$$

где Δ_0 - отклонение диаметра пробитого отверстия от диаметра отверстия в вырезном шаблоне, мм;

K_k - коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок, ($K_k = 1,15 \pm 1,2$);

d_p - наибольшая равномерная деформация по испытаниям на растяжение.

Формула подвергалась экспериментальной проверке при пробивке отверстий в бронзе БрБ2-М и нержавеющей стали Х18Н9Т. На рис.2 показаны расчетная и экспериментальная зависимости отклонения для БрБ2-М различных толщин.

Как видно из рис. 2, расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает 10%.

Зная величину отклонения, легко можно скорректировать размеры шаблона для получения деталей с заданной точностью.

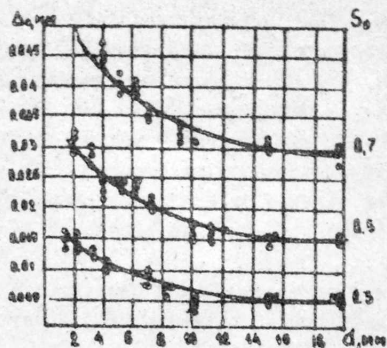


Рис.2. Экспериментальная и расчетная зависимости отклонения размеров детали от диаметра пробиваемого отверстия и толщины заготовки для БрБ2-М.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате экспериментальных исследований определено, что в зависимости от соотношений между диаметром пробиваемого отверстия, толщиной заготовки и глубиной выпученной части заготовки возможны три схемы напряженно-деформированного состояния. По этому признаку предложено классифицировать отверстия на большие ($d/S > 25$), малые ($2.5 < d/S < 20+25$) и "весьма" малые ($d/S < 2.5$).

При пробивке малых отверстий необходимо стремиться, чтобы разрушение заготовки произошло в момент касания наиболее вытянутой части заготовки подштамповой плиты, так как только в этом случае можно обеспечить высокое качество деталей и уменьшить усилие, необходимое для пробивки.

2. При пробивке малых отверстий эластичным инструментом деформирование и разрушение заготовки происходит в результате совместного действия растягивающих и касательных напряжений, обеспечивающих выпучивание и врезание заготовки. Однако по мере роста глубины выпученной части заготовки растягивающие напряжения растут, а касательные уменьшаются. И окончательное разделение осуществляется за счет действия растягивающих напряжений, то есть в результате отрыва заготовки по ослабленному врезанием сечению.

3. Теоретически решена актуальная задача определения напряженно-деформированного состояния эластомера в процессе пробивки отверстия. Показано, что при анализе напряженно-деформированного состояния эластомера необходимо учитывать сопротивление деформированию заготовки, так как оно повышает среднее гидростатическое давление, возникающее в эластомере.

Доказано, что в отличие от имевшихся ранее представлений, напряжения в эластомере при пробивке отверстий распределены не равномерно.

Получены аналитические выражения позволяющие построить поля напряжений и деформаций, возникающих в эластомере в процессе пробивки малых отверстий.

4. В результате теоретического анализа получены формулы, позволяющие определить такие технологические параметры процесса, как давление пробивки, максимальная глубина выпучивания заготовки в отверстии шаблона, глубина резания.

5. Разработана методика и техника проведения экспериментальных исследований эластомера с использованием поляризационно-оптического метода. Это дало возможность экспериментально определить напряженное состояние эластомера и подтвердило правильность теоретического анализа.

6. В результате экспериментальных исследований деформированного состояния эластомера разработаны рекомендации по определению размеров эластичного инструмента в зависимости от радиуса пробиваемого отверстия.

7. Экспериментально определены и проанализированы факторы, влияющие на величину отклонения размеров пробитого отверстия от шаблона. Получена формула, позволяющая учесть это отклонение и скорректировать размеры шаблона.

8. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 25200 руб в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Штамповка полиуретаном деталей из листовых материалов /А.Д. Комаров, А.А. Рябых, В.К. Шадрин, Ф.В. Киров//Кузнечно-штамповочное производство. - 1973. - № 9. - С. 26-29.

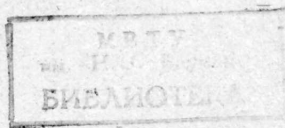
2. Рябых А.А., Ситников Л.Л., Бердиченко Т.Л. Исследование вырезки деталей эластичными средами с использованием поляризационно-оптического метода //Штамповка полиуретаном.

- Пермь, 1975. - С.49-51.

3.Рябых А.А. Точность деталей, вырезаемых эластичной средой //Кузнечно-штамповочное производство. - 1975. - № 2.
- С.21-22.

4.Рябых А.А., Ситников Л.Д. Технологические параметры процесса пробивки отверстий эластичной средой //Кузнечно-штамповочное производство. - 1987. - № 5. - С.27-28.

А.А. Рябых



Зак. 720 Л- 94890 от 25.06.87 Объем I п.л. тираж 100

Типография МВТУ имени Н.Э.Баумана