

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА»

ТЕОРИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве
методических указаний к лабораторным работам*

САМАРА

Издательство СГАУ

2007

УДК 621. 77 (075)

ББК 34. 623

Составители: *М. В. Хардин, А. В. Цапенко*

Рецензент И. П. П о п о в

Теория листовой штамповки: метод. указ. к лабораторным работам /
сост. *М. В. Хардин, А.В. Цапенко.* - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та,
2007. - 32 с.

Методические указания знакомят студентов с основными процессами листовой штамповки, их особенностями и с методиками их изучения, применяемыми на ОАО «АВТОВАЗ». В работе рассматривается как универсальное, так и специализированное оборудование, оснастка. Проводимые в рамках лабораторных работ исследования позволяют студентам закрепить теоретические знания, получить практические навыки работы с экспериментальным оборудованием, понять сущность происходящих процессов и научиться определять наиболее важные технологические параметры процессов.

Методические указания рекомендуются для студентов, обучающихся по специальностям 150106 и 150201, но также могут быть полезны и студентам других факультетов вуза, инженерам, аспирантам. Выполнены на кафедре машиностроения.

УДК 621.77 (075)

ББК 34.623

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2007

Лабораторная работа № 1

Технологические испытания для построения диаграмм предельных деформаций (ДПД)

Цель работы: изучить механизм и схемы напряженно-деформированного состояния при проведении испытаний для оценки способности листовых материалов к предельному формоизменению.

ДПД, или диаграммы Келера-Гудвина, дают наиболее объективную оценку способности листовых материалов к предельному формоизменению. Для их построения необходимо проведение испытаний, имитирующих как формовочные операции, так и операции глубокой вытяжки.

Для построения ДПД используется методика, разработанная в лаборатории ОМД УЛИР АО «АВТОВАЗ». Преимуществом методики является то, что зона разрушения образца не подвержена изгибу и трению и имеет высокую однородность распределения деформаций.

Испытания проводятся на серийной машине для проведения технологических проб на выдавливание по Эриксену с заменой стандартного инструмента на специально разработанный. При стандартном испытании (рис. 1.1.) круглая или квадратная заготовка 1, вырезанная из испытуемого металла, зажимается между матрицей 3 и вкладышем прижимного кольца 2 так, что течение металла между ними исключается. Выдавливание лунки осуществляется пуансоном 5, имеющим

сферический рабочий торец и закрепленным на ползуне 4 шпинделя прибора, до появления трещины, наблюдаемой с помощью зеркала, установленного на корпусе прибора. Показателем штампуемости при испытании по Эриксену является глубина лунки до появления трещины. Это достаточно простое испытание весьма приближенно оценивает штампуемость и, в частности, способность к вытяжке.

Объясняется это, во-первых, тем, что формовка лунки по Эриксену происходит при схеме напряженного состояния, близкого к двухосному растяжению, т.е. отличной от схемы напряженного состояния во фланце при вытяжке, во-вторых, тем, что на глубину лунки, кроме свойств металла, оказывают влияние относительная толщина заготовки и условия трения. С увеличением толщины заготовки глубина лунки до разрушений увеличивается, вследствие чего в ГОСТах указываются допустимые значения глубины лунки для данного металла в зависимости от толщины.

Диаграмма предельных деформаций определяет возможности формоизменения листового материала при различном соотношении деформаций. Для ее построения необходимо получить образцы из одного материала в аналогичных условиях деформирования, но с разным соотношением деформаций, соответствующих моменту разрушения (предельных деформаций). Практически это может быть осуществлено изменением ширины испытываемого образца от значений, при которых полоса уже отверстия матрицы (наблюдаются деформации удлинения и утонения), до ширины равной длине заготовки (схема двухосного растяжения).

В рассматриваемой методике используется специальная оснастка (рис.1.2.), состоящая из прижима с направляющим кольцом 4, матрицы 3 и пуансона 5. Для проведения испытаний используется технологическая прокладка 2 в виде шайбы из листового металла. Пластичность материала прокладки должна быть достаточной для подготовки технологической пробы без разрыва металла в отверстии прокладки (рекомендуемый материал - сталь марки 08Ю или 01 ЮТ категории вытяжки ВОСВ или ВОСВ-Т). Заусенцы в отверстии прокладки удаляются, а при необходимости кромка отверстия полируется.

Образцы 1 представляют собой полосы длиной не менее 80 мм и различной ширины, величина которой определяет характер процесса и схему напряженно-деформированного состояния. Направления вырезки полос составляют с направлением прокатки листа углы равные 0° , 45° , 90° либо другие выбранные углы. Вырезка образцов осуществляется на гильотинных или ручных ножницах, при этом допускается небольшой изгиб (коробление) по краям полосы, заусенцы удаляют. Для получения требуемого размера по ширине образцы фрезеруют или шлифуют, затем протирают ветошью для удаления смазки и загрязнения.

На образцы наносится сетка в виде кругов диаметром 1-5 мм или квадратов со стороной 1-5 мм, причем одна сторона квадрата должна быть параллельна длине полосы. Сетка наносится электрохимическим,

механическим или любым другим способом, при котором отклонения размеров ячеек сетки не превышает 1 %.

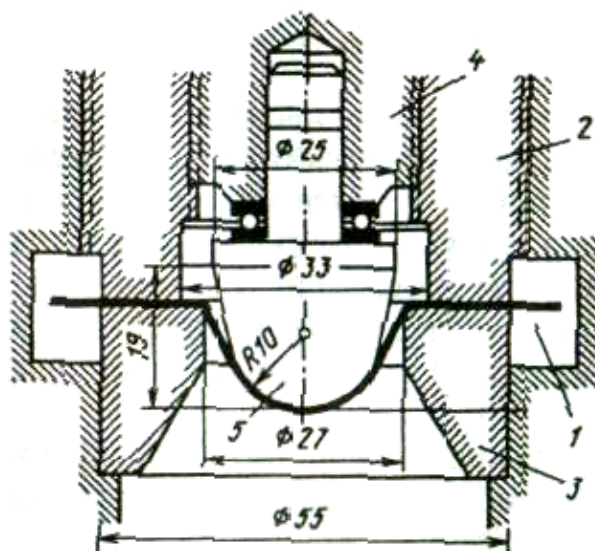


Рис. 1.1. Схема испытаний на выдавливание по Эриксену

Схема установки образца в специальную оснастку представлена на рис.1.2. Между пуансоном и технологической прокладкой размещается листовая полиэтилен для уменьшения трения. Между технологической прокладкой и образцом наносится канифоль, равномерно в виде порошка, или другое вещество для увеличения трения.

Усилие прижима на машине МТЛ-10Г устанавливаем на максимальное - 45 кН, обеспечивающее жесткое защемление фланца для предотвращения его утяжки. Скорость деформирования выбирают в диапазоне 5-10 мм/мин. Процесс осуществляется до визуального обнаружения разрыва в донной части образца.

Изготовление технологической пробы считается успешным, если разрыв произошел в центральной части образца.

Технологическая проба считается недействительной в случаях:

- трещина развивалась на образце от радиусной зоны;
- при явной несимметричной деформации образца, приводящей к искажению линии сетки, проходящей вблизи продольной оси симметрии образца;
- при совпадении мест появления трещин на прокладке и образце;
- при утяжке металла из-под прижима.

Далее определяется зона наиболее однородных деформаций (наименьшему искажению от параллельности линий деформированной сетки). Зона равномерных деформаций находится в центральной части технологической пробы в районе 5 мм от разрыва. В этой зоне проводят замеры ячеек сетки (не считая ячеек, попавших на разрыв).

Замеряются конечные значения длины, ширины и толщины. Для измерения сетки применяется лупа Бринеля с ценой деления 0,1 мм. Для измерения толщины образца до и после испытания применяется листовая микроскоп с ценой деления 0,01 мм или индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм. Замеры деформированных круглых ячеек производят по осям эллипса. Вычисления главных деформаций выполняют по формулам:

$$\varepsilon_b = \ln\left(\frac{b_i}{b_0}\right), \quad \varepsilon_t = \ln\left(\frac{t_i}{t_0}\right),$$

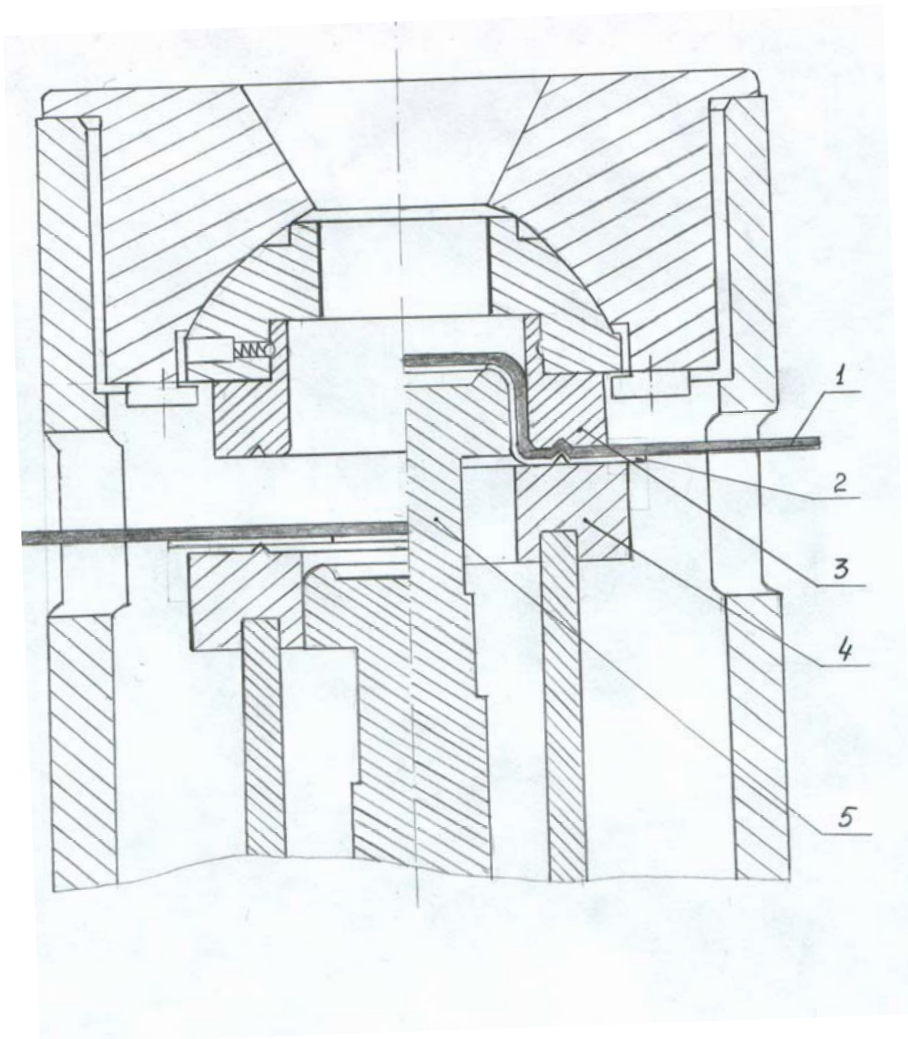


Рис. 1.2. Специальная оснастка для проведения технологических испытаний

где b_0 и b_i - начальный и конечный размеры ячейки сетки;

t_0 и t_i - начальная и конечная толщина листа.

По известным ε_b и ε_l , деформацию удлинения образца вычисляем из условия сохранения объема:

$$\varepsilon_l = -(\varepsilon_b + \varepsilon_t).$$

Диаграмма предельных деформаций строится путем нанесения средних значений деформаций $\varepsilon_l(\varepsilon_1)$ и $\varepsilon_b(\varepsilon_2)$ для всех испытанных типов (ширин) образцов. От среднего значения откладывается доверительный

интервал по двум осям. Через четыре полученные точки проводят эллипс рассеивания предельных деформаций. Эллипсы для всех схем деформирования обводятся двумя кривыми, которые и являются диаграммой предельных деформаций.

Существует также упрощенная методика построения ДПД, в которой используются только две точки предельных деформаций. Это равномерное двухосное растяжение, когда ширина испытуемого образца равна длине. При этом $\varepsilon_l(\varepsilon_1) = \varepsilon_b(\varepsilon_2) = -\frac{\varepsilon_l(\varepsilon_3)}{2}$. Другой схемой является плоская деформация, когда ширина заготовки чуть меньше диаметра пуансона. Здесь $\varepsilon_b(\varepsilon_2) = 0$, $\varepsilon_l(\varepsilon_1) = \varepsilon_l$.

ДПД строится путем нанесения средних значений (не менее трех образцов на каждую схему деформирования) главных деформаций $\varepsilon_l(\varepsilon_1)$ и $\varepsilon_b(\varepsilon_2)$ на поле логарифмических деформаций.

После статистической обработки результатов от среднего значения откладывают доверительный интервал по двум осям $\varepsilon_l(\varepsilon_1)$ и $\varepsilon_b(\varepsilon_2)$. Границы, отложенные вдоль оси $\varepsilon_l(\varepsilon_1)$, обводятся двумя кривыми, при этом получается доверительная полоса разброса значений, в которую укладываются колебания механических свойств конкретных марок сталей.

Левая часть ДПД ($\varepsilon_b(\varepsilon_2) < 0$) строится по точке плоской деформации и стандартным испытаниям на разрыв. Из точки, полученной на оси $\varepsilon_b(\varepsilon_2) = 0$, проводят прямую параллельно линии «нулевой» толщины $\varepsilon_3 = 0$ до точки пересечения с прямой, определяющей путь нагружения

при испытании на одноосное растяжение, т. е. определяемое отношением $R = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3}$.

Порядок проведения работы.

1. Подготовить образец для испытаний, произвести контрольные промеры размеров ячеек и толщины.
2. Установить образец согласно описанной схеме в устройство для испытаний.
3. Произвести испытание.
4. Оценить успешность технологической пробы.
5. В случае успешного испытания определить участок равномерного деформирования и замерить конечные значения ширины и толщины (не менее трех раз).
6. Рассчитать деформации и произвести статистическую обработку результатов эксперимента. Заполнить таблицу.
7. Построить диаграмму предельных деформаций и сделать выводы по работе.

№ обр.	$B,$ мм	$t_i,$ мм	$\bar{t} \pm \Delta t$	$b_i,$ мм	$\bar{b} \pm \Delta b$	$\varepsilon_b \pm \Delta \varepsilon_b$	$\varepsilon_t \pm \Delta \varepsilon_t$	$\varepsilon_l \pm \Delta \varepsilon_l$

Лабораторная работа № 2

Оценка эффективности технологических смазок при вытяжке

Цель работы: изучить методику технологических испытаний тонколистовых сталей на штампуемость при операции глубокой вытяжки цилиндрического стакана и оценить эффективность различных смазочных материалов.

Вытяжка — операция, с помощью которой из плоской листовой заготовки получают полые пространственные детали. При вытяжке заготовка протягивается пуансоном через отверстие матрицы, в результате чего периметр заготовки уменьшается и плоская заготовка превращается в полое изделие или полуфабрикат (первый переход вытяжки), или же полый полуфабрикат получает дальнейшее уменьшение поперечных размеров при одновременном увеличении его высотных размеров (последующие переходы вытяжки). Вытяжкой получают детали различных конфигураций в плане и профилей в поперечных сечениях: осесимметричные (цилиндрические, конические, с криволинейной образующей и т.п.), имеющие плоскостную симметрию (коробчатые с плоскими боковыми стенками, сложной конфигурации типа крыши автомобиля и т.п.) и детали несимметричные (крыло автомобиля и т.п.).

Величина допустимого формоизменения в каждом переходе вытяжки в значительной степени зависит от условий деформирования и обычно

ограничивается разрушением заготовки в опасном сечении или потерей устойчивости заготовки в процессе деформирования. Потеря устойчивости приводит к появлению складок, морщин, искажающих форму заготовки и получаемого изделия, а иногда и к разрушению, когда образовавшиеся складки застревают в зазоре между пуансоном и матрицей.

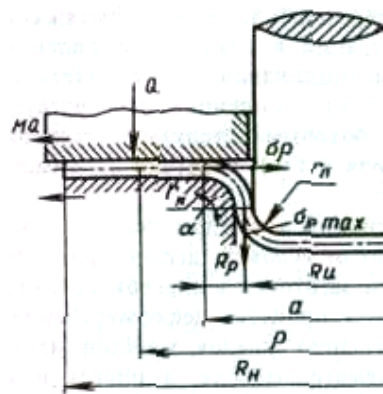


Рис. 2.1. Схема вытяжки

Рассмотрим процесс вытяжки цилиндрического стакана из плоской заготовки (рис. 2.1). В начальной стадии деформирования пуансон, оказывая давление на центральную часть заготовки, вызывает ее прогиб. Дальнейшее опускание пуансона приводит к возникновению меридиональных растягивающих напряжений σ_ρ (также их называют напряжениями вдоль образующей и обозначают σ_l), стремящихся втянуть фланец заготовки в отверстие матрицы. Перемещение элементов фланца к отверстию матрицы приводит к уменьшению его размеров, но за счет упрочнения сопровождается ростом напряжений σ_ρ и усилия процесса. Напряжения в опасном сечении $\sigma_{\rho \max}$ можно

представить как совокупность действия нескольких факторов. Первой составляющей являются напряжения от перемещения фланца под прижимом с учетом упрочнения, другая составляющая появляется из-за изгиба заготовки по кромке матрицы и ее дальнейшего распрямления. Также необходимо учитывать составляющие, возникающие за счет трения фланца под прижимом и на кромке матрицы. Итоговая формула, описывающая напряжения в опасном сечении имеет вид:

$$\sigma_{\rho \max} = \left[Ax^n (\ln k_{\epsilon} - x) + \frac{Qf}{2\pi R_3 S} + \sigma_{\epsilon} \frac{S}{2r_M + S} \right] e^{f\alpha},$$

где A , n – константы упрочнения;

$k_{\epsilon} = \frac{R_3}{r_{II}}$ - коэффициент вытяжки;

$x = \frac{R_3 - R_H}{R_3}$ - относительное перемещение фланца;

Q - усилие прижима;

S – толщина заготовки;

f - коэффициент трения.

Из формулы видно, что растягивающее напряжение в опасном сечении уменьшается с уменьшением коэффициента трения. Отсюда следует, что вытяжку следует обязательно выполнять с предварительным смазыванием заготовки.

В промышленности разработано и используется большое число рецептов смазочных материалов в зависимости от металла заготовки.

Отметим, что смазочные материалы для вытяжки должны удовлетворять ряду требований, например:

- обладать адгезией к металлу заготовки (должны смачивать и удерживаться на поверхности);
- не выдавливаться под действием контактных напряжений, воздействующих на поверхность заготовки со стороны инструмента;
- обеспечивать возможно малые значения коэффициента трения;
- быть антикоррозионными — не вызывать коррозию заготовки и инструмента;
- быть безопасными для здоровья человека;
- сравнительно простыми способами удаляться с поверхности заготовки.

Для тяжелых условий вытяжки обычно применяют консистентные смазочные материалы, в том числе основанные на минеральных маслах с добавкой гигроскопических твердых наполнителей (графит, тальк, мел, древесная мука) или с добавками серы, которая образует с минеральным маслом большие сложные молекулы, хорошо прилипающие к заготовке и образующие как бы ворсистые прослойки, обеспечивающие сравнительно легкое перемещение заготовки относительно инструмента.

Рационально подобранные смазочные материалы при листовой штамповке обеспечивают малые значения коэффициента трения, находящиеся в пределах $f = 0,05 \dots 0,10$, что повышает предельные возможности процесса (предельный коэффициент вытяжки).

Для экспрессной оценки штампуемости тонколистового материала, а также для оценки качества существующих и вновь разрабатываемых смазочных материалов в лаборатории ОМД УЛИР была разработана следующая методика. Испытания проводятся при вытяжке цилиндрического стакана, причем диаметр исходной заготовки выбран таким образом, чтобы вытяжка была неполной с разрывом в опасном сечении. При диаметре пуансона $d_p=50$ мм, диаметр заготовки $D_3=115$ мм, то есть коэффициент вытяжки равный 2,3, превышает предельные значения для сталей.

С заготовок, полученных в вырубном штампе, удаляются заусенцы, после чего они обезжириваются. Далее на заготовку наносят технологическую смазку и устанавливают в специальное вытяжное устройство. Усилие прижима выбирается из условия отсутствия гофрообразования при деформации фланца и фиксируется при данном испытании.

Процесс вытяжки осуществляется до начала разрушения заготовки. В результате получается порванный стаканчик с фланцем, измерив который штангенциркулем, получим средний диаметр фланца D_{cp} . Также по манометру фиксируется значение усилия вытяжки при разрушении образца. Скорость процесса вытяжки устанавливается постоянной в проводимом испытании.

Коэффициент предельной деформации, вычисляемый по формуле $k_{nd} = \frac{D_3}{D_{cp}}$, является критерием штампуемости испытуемого листового

материала. При оценке эффективности смазочных материалов - чем выше значение k_{no} , тем выше качество смазки. Также для оценки эффективности различных смазок можно пользоваться коэффициентом относительной эффективности смазки:

$$k_{эф.отн.} = \frac{k_{n.д.} - 1}{k_{n.д.этал.} - 1},$$

где $k_{n.д.этал.}$ - коэффициент предельной деформации при вытяжке со смазкой, принятой в качестве эталона.

При разработке новой технологической смазки проводится ее сравнение с существующими по предлагаемой методике. Новая смазка считается лучшей, если при вытяжке с ее использованием k_{no} больше.

Установлена также взаимосвязь между рассмотренным коэффициентом предельной деформации и коэффициентом вытяжки, который широко используется при разработке технологических процессов и является справочной характеристикой. Зависимость между коэффициентами может быть выражена следующим образом:

$$k_{no} = \frac{1}{1,894 - 0,1837k_g^2}.$$

Другой способ, осуществляемый на кривошипном прессе, предусматривает использование квадратной заготовки. Вытяжка производится на фиксированную глубину H , меньшую предельной, так что трещины на образце не образуются. На заготовке наносят царапаньем окружность радиусом R_0 , меньшим радиуса пунсона

примерно на 10 мм. Заготовку покрывают испытуемой смазкой и осуществляют вытяжку.

Извлекают заготовку из штампа и замеряют деформации на дне стакана по увеличению размеров окружности (стало R_k). Для этого на дне стакана наносят вторую риску тем же радиусом R_0 . Об эффективности смазки судят по абсолютной разнице $R_k - R_0$. Чем меньше эта разница, тем эффективнее смазка.

Порядок проведения работы.

1. Подготовить образцы для испытаний из одной партии, одинаковой толщины и механических свойств.
2. Подготовить испытуемые технологические смазки.
3. Перед испытанием и при перемене смазки поверхность инструмента, на котором проводится испытание, и сама заготовка обезжириваются.
4. Установить образец согласно описанной схеме в устройство для испытаний.
5. Произвести испытание.
6. Замерить исследуемые параметры (не менее трех раз).
7. Произвести расчеты. Заполнить таблицу.
8. Сделать выводы по работе.

№ обр.	P, КН	PП р, КН	VД еф,	Dз, мм	Dс р,мм	$k_{но}$	$k_{эф.омм}$	$k_{ε}$

Лабораторная работа № 3

Исследование процесса отбортовки осесимметричной заготовки

Цель работы: изучить механизм и установить схемы напряженно-деформированного состояния при отбортовке а также рассмотреть методику оценки предельных возможностей.

Отбортовка — операция получения горловины в плоской или пространственной заготовке путем вдавливания в отверстие матрицы части заготовки с предварительно пробитым отверстием. В процессе отбортовки очагом деформации является часть заготовки, противостоящая отверстию матрицы, причем в очаге деформации длина элементов в тангенциальном направлении увеличивается. Отбортовка является одной из самых распространенных операций в листовой штамповке.

Схема процесса деформирования при отбортовке с осевой симметрией деформирования приведена на рис. 3.1.

Контактные напряжения при $rn > s$ сравнительно невелики и не могут оказывать заметного влияния на переход заготовки в пластическое состояние, поэтому с достаточной точностью можно считать, что при отбортовке в очаге деформации схема напряженно-деформированного состояния близка к схеме двухосного растяжения.

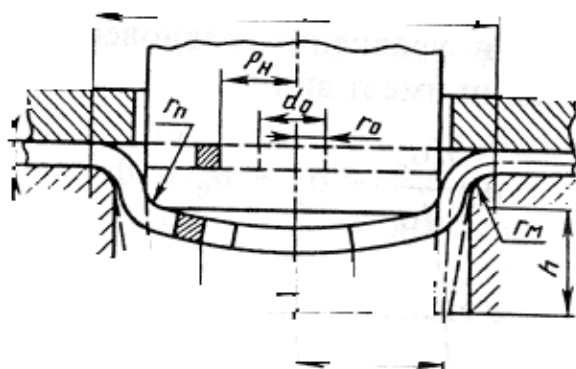


Рис. 3.1. Схема деформирования при отбортовке

Наглядно процесс отбортовки связан с увеличением диаметра кромки заготовки d_0 до максимального значения диаметра кромки $d_{кр}$.

Показателем, характеризующим величину отбортовки, является коэффициент отбортовки (отношение диаметра кромки детали к диаметру отверстия в заготовке):

$$k_{омб} = \frac{d_{кр}}{d_0}. \quad (1)$$

Всю заготовку можно разделить на 3 участка:

- 1) участок основной пластической деформации;
- 2) участок пластической деформации радиусной кромки матрицы;
- 3) упругий участок.

При отбортовке вероятно образование одного дефекта – разрыва кромки заготовки в результате истощения ее пластичности.

Количественным показателем, определяющим величину максимально возможной отбортовки, является предельный коэффициент отбортовки.

На Волжском автомобильном заводе проведена работа по повышению надежности оценки критических деформаций при отбортовке по результатам испытаний на разрыв по ГОСТ 11701-84 и составлены диаграммы предельных деформаций (ДПД).

В настоящее время испытание на отбортовку проводят по методу Е. Зибеле и А. Помпа (KWI). При этом основным показателем испытания является относительное расширение отверстия в момент разрушения кромки. При таком испытании не ясно, какой момент деформации принимать за критический, что приводит к большому разбросу результатов измерений.

В различных источниках показано, что критическая деформация на кромке при отбортовке $\varepsilon_{кр}$ связана с величиной деформации разрушения при растяжении ε_{1p} , которую определяют по относительному сужению площади поперечного сечения ψ_p при разрыве образца. Однако определение ψ_p затруднено неравномерностью сечения образца при разрыве, так как разрушению предшествует образование шейки, в которой, как известно, реализуется сложное объемное нагружение, что существенно влияет на предельные деформации разрушения.

Опытным путем установлено, что критические деформации, развиваемые на кромке при отбортовке, значительно выше, чем ε_{1p} при одноосном растяжении. При отбортовке потери устойчивости в виде образования шейки не происходит, поэтому можно предположить, что деформированные состояния на кромке отверстия и в шейке различны.

При отбортовке разрушение происходит в определенных местах, зависящих от анизотропии механических свойств в плоскости листа при прочих равных условиях. Самым распространенным является разрушение под углом 45° к направлению проката. Известно, что показатель анизотропии оказывает положительное влияние на предельные пластические возможности металла при отбортовке. Он влияет также и на возможность получения больших значений деформаций ε_1 при заданной степени утонения. Исходя из этого, для определения критических деформаций при отбортовке достаточно испытать образцы, вырезанные под таким углом к направлению проката, при котором показатель анизотропии был бы минимальным.

В качестве образца для проведения испытаний на отбортовку использовалась заготовка в виде круга диаметром 80 мм с внутренним отверстием 15 мм. Заготовка вырубается из полосы на прессе RYE 250 в совмещенном штампе для вырубки-пробивки. Испытания проводили на машине МТЛ-10Г с диаметром пуансона 45 мм и радиусом кромки пуансона 10 мм. Внутреннее отверстие подвергается механической обработке для зачистки кромок, вплоть до полировки. Наименьшее

предельное значение коэффициента отбортовки наблюдается при получении отверстия в заготовке пробивкой, так как вокруг него возникает упрочненный слой. При сверлении отверстий предельный коэффициент значительно выше. Наибольшие значения коэффициента отбортовки можно получить полировкой просверленного отверстия или для пробитого – снятием упрочненного слоя и последующей полировкой.

Заготовка помещается в рабочую зону машины, фиксируется прижимом, усилие которого выставляется на максимальную величину 4,5 тс. Момент окончания испытания фиксируется визуально по разрушению кромки образца. При этом определяется усилие процесса по индикаторной шкале. Далее на полученном образце измеряется при помощи штангенциркуля значение диаметра кромки $d_{кр}$ в нескольких местах по окружности для получения среднего результата. Предельный коэффициент отбортовки для данного материала, толщины и качества обработки отверстия определяется по формуле (1).

Тангенциальная деформация на кромке образца может быть определена по формуле:

$$\varepsilon_{\theta} = \ln \frac{d_{кр}}{d_0} = \ln k_{омб} . \quad (2)$$

Деформация по толщине может быть получена замером толщины заготовки устройством типа листового микрометра со специальными насадками – с.

$$\varepsilon_s = \ln \frac{S}{S_0} \quad (3)$$

В этом случае третья деформация вдоль образующей может быть найдена из условия постоянства объема:

$$\varepsilon_l = -\varepsilon_s - \varepsilon_\theta. \quad (4)$$

Из теории процесса отбортовки известна формула для определения предельного коэффициента:

$$k_{отбр} = \frac{1}{1 - \psi_p}, \quad (5)$$

где ψ_p - равномерное уменьшение поперечного сечения при испытаниях на растяжении. Формула не учитывает множество перечисленных выше факторов и дает очень приблизительный результат.

Порядок проведения работы.

1. Подготовить образцы для испытаний по 3-4 штуки для каждого материала, толщины, категории вытяжки или способа подготовки отверстия.
2. Установить образец согласно описанной схеме в устройство для испытаний.
3. Произвести испытание.
4. Замерить исследуемые параметры: усилие процесса, диаметр кромки (не менее трех раз).

5. Произвести расчеты. Заполнить таблицу.

6. Сделать выводы по работе.

№ обр.	Категория вы- тяжки	P, КН	$\bar{d}_{кр} \pm \Delta d_{кр}$	$k_{отб}$	$k_{отбтеор}$	ε_{θ}	ε_s	ε_l

Лабораторная работа № 4

Исследование упругого пружинения при гибке листовых заготовок

Цель работы: изучить механизм пружинения при гибке и оценить влияние различных факторов на его величину.

Гибка — весьма распространенная операция листовой штамповки. Гибка осуществляется в штампах и на специализированном гибочном оборудовании.

Гибка, т.е. изменение кривизны срединной поверхности при почти неизменных ее линейных размерах, сопровождается неравномерным распределением деформаций по толщине. При гибке обычно изменяется кривизна срединной поверхности в одной плоскости, а кривизна заготовки в плоскостях, перпендикулярных плоскости изгиба, должна оставаться неизменной, равной нулю.

Переменность деформаций по толщине может возникать в случае, если напряжения, вызывающие эти деформации, также переменны по толщине. Переменность напряжений по толщине может являться следствием приложения к деформируемой заготовке изгибающего момента.

Для осуществления изгиба к заготовке, как минимум, необходимо приложить изгибающий момент, хотя при штамповке изгиб обычно

осуществляется одновременным действием моментов продольных и поперечных сил.

Рассмотрим идеализированный случай изгиба под воздействием одного только изгибающего момента.

При таком виде изгиба продольные и поперечные силы отсутствуют, кривизна срединной поверхности заготовки на участке изгиба постоянна в любой момент деформирования, что позволяет считать справедливой для изгиба моментом гипотезу плоских сечений или же гипотезу постоянства нормалей. Согласно этой гипотезе плоскости, перпендикулярные срединной поверхности, остаются плоскими в процессе изгиба. Схема напряженно-деформированного состояния процесса представлена на рис. 4.1.

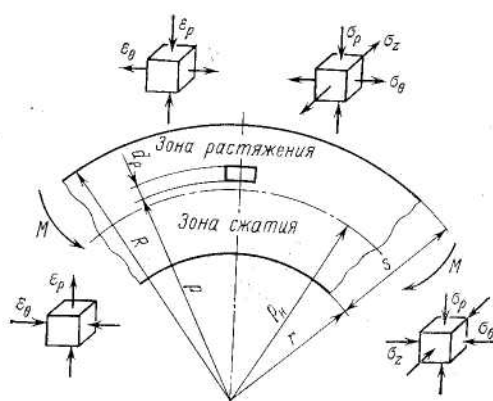


Рис.4.1. Схема напряженно-деформированного состояния при гибке

При гибке часть заготовки по толщине испытывает тангенциальное растяжение, а другая ее часть - тангенциальное сжатие,

поэтому при снятии внешних нагрузок растянутые слои стремятся сократить свою длину, а сжатые - увеличить. Из-за этого угол между нормальными к срединной поверхности будет изменяться. Явление изменения угловых размеров и радиусов кривизны при снятии деформирующих нагрузок называют пружинением.

Изменение значений углов и радиусов при разгрузке зависит от многих факторов и может иметь значительную величину, которую необходимо учитывать при разработке технологического процесса и инструмента. Тенденция к автоматизации сварки и сборки кузовов автомобилей требует повышенной точности размеров деталей кузова. Однако колебания прочностных свойств оказывают значительное влияние на пружинение стали, с увеличением прочности растет пружинение.

Другим фактором, определяющим пружинение, является радиусгиба. В автостроении малые радиусагиба реализуются при отбортовке, гибке на 90^0 , большие радиуса - при штамповке крупногабаритных панелей кузовов и кабин.

Существуют различные аналитические зависимости для определения величины пружинения, одна из них, учитывающая анизотропию свойств материала:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{3k'_\theta(1-\nu_{12}\nu_{21})}{(2+n)E_1} \left(\frac{2r_{\text{вн}}}{s} + 1 \right)^{1-n},$$

где $k'_\theta = \frac{k_\theta}{(1 - \mu_{12}\mu_{21})^{0,5(1+n)}}$,

k_θ , n – коэффициенты степенной аппроксимации, учитывающие упрочнение материала в направлении θ ;

μ_{12} и μ_{21} – коэффициенты поперечной деформации;

E – модуль упругости;

α – уголгиба;

$\Delta\alpha$ – изменение углагиба в результате пружинения;

ν_{12} и ν_{21} – коэффициенты Пуассона (аналогичны μ_{ij} в упругой области).

Несмотря на то, что данная формула дает хорошую сходимость результатов, ее практическое использование затруднено из-за отсутствия значений некоторых перечисленных параметров в данных на поставляемый металл и из-за сложности их определения.

В связи с этим необходима простая методика, позволяющая исследовать влияние изменения различных факторов на процесс пружинения. Такая методика была разработана в лаборатории ОМД УЛИР.

Образец 4 из исследуемой стали, заданной толщины с размерами 40×90 мм помещается в оснастку (рис. 4.2). Прижимом 3 образец жестко фиксируется на матрице 2, рабочая вставка которой выполнена

сменной для изменения радиусагиба. Деформирование осуществляется пуансоном 6, размещенным на пуансонодержателе 5. Для изменения толщины материала в конструкции предусмотрена клиновидная вставка 1. После возвращения пуансона в первоначальное верхнее положение происходит пружинение согнутой на угол 90° заготовки, величина которого может быть тут же измерена по отклонению при помощи индикатора часового типа или после снятия заготовки с оснастки.

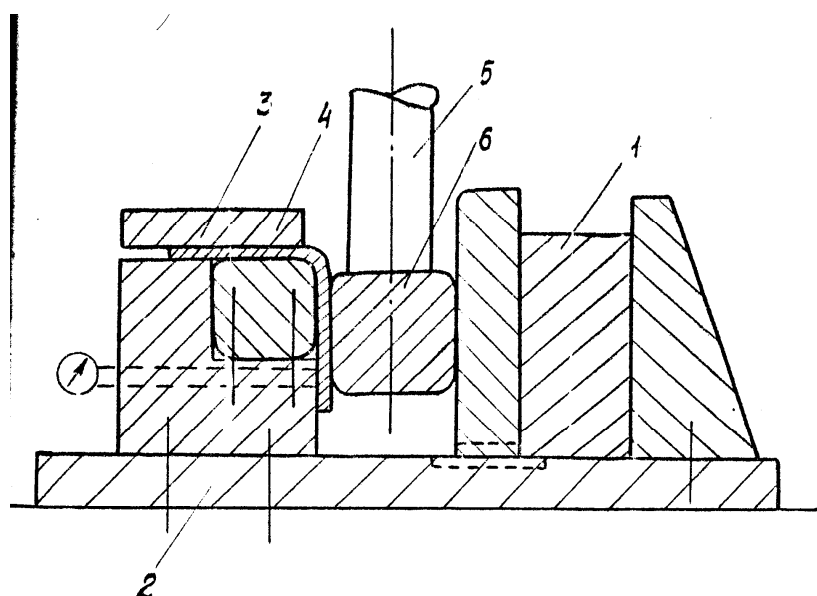


Рис. 4.2. Схема штампа для изучения пружинения

Порядок проведения работы.

1. Подготовить образцы для испытаний по 3-4 штуки для каждого материала, толщины и радиуса матрицы.
2. Установить образец согласно описанной схеме в устройство для испытаний.

3. Произвести испытание.
4. Замерить упругое пружинение.
5. Произвести статистическую обработку результатов эксперимента. Заполнить таблицу.
6. Зарисовать график.
7. Сделать выводы по работе.

№ обр.	Материал	Толщина, мм	Радиус матрицы, мм	$\Delta\alpha$	$\Delta\bar{\alpha} \pm \Delta\alpha$

Учебное издание

Теория листовой штамповки
Методические указания к лабораторным работам

Составители: *Хардин Михаил Викторович,*
Цапенко Антон Викторович

Редактор Ю. Н. Литвинова
Компьютерная верстка Ю. Н. Литвинова

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2 л.

Тираж 150 экз. Заказ . Арт. 87

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34