

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ГИБКЕ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ЛОКАЛИЗОВАННЫМ ОЧАГОМ ДЕФОРМАЦИИ

В статье приведены результаты исследований течения материалов при гибке листовых заготовок с локализованным очагом деформации. Получены аналитические зависимости характера деформирования, что позволило управлять технологическим процессом. Установлены параметры основных факторов влияния на процесс формообразования конических пространственных заготовок методом гибки.

Ключевые слова: гибка, диффузор, локальная деформация, конический пуансон.

Введение. Традиционно одним из наиболее распространенных способов изготовления заготовок из листового проката является холодная листовая штамповка. Среди прочих методов пластического деформирования наиболее высокую точность и эффективность обеспечивают процессы с локализованным очагом деформации. К преимуществам данных процессов следует отнести локальный характер приложения нагрузки, что приводит к снижению, как общей силы деформирования, так и контактных напряжений, действующих на инструмент. Это приводит к снижению трудоёмкости процессов, снижению расхода металла, сокращению расходов на инструмент, уменьшению потребности в производственных площадях.

Материалы и результаты исследований. Примером получения деталей с применением гибки с локализованным очагом деформации может служить производство конических желобов, являющихся компонентами деталей типа «диффузор» (см. рис. 1). Производство деталей такого типа на многих отечественных предприятиях является неотработанным, длительным и трудоемким процессом. Их получают путём сварки двух частей (желобов). Для изготовления желобов используется стальной листовой прокат — по два листа на изготовление одного диффузора. После вырубki на гильотинных ножницах, зачистки кромок, правки и разметки, снятия наплывов и шлака лист правят повторно и выполняют с помощью двухдисковых ножниц прорези в местахгиба, после чего производится гибка на кромкогибочном прессе. Жёлоба подвергаются окончательной правке до чертёжных размеров и свариваются. Готовый диффузор подвергается проверке размеров, в случае необходимости правится вручную, зачищается. Изготовление данных деталей требует больших затрат времени и ручного труда, поэтому актуальным является решение по разработке и применению нового инструмента и оборудования, позволяющих интенсифицировать их производство за счёт исключения ручных работ и снижения количества необходимых переналадок оборудования.

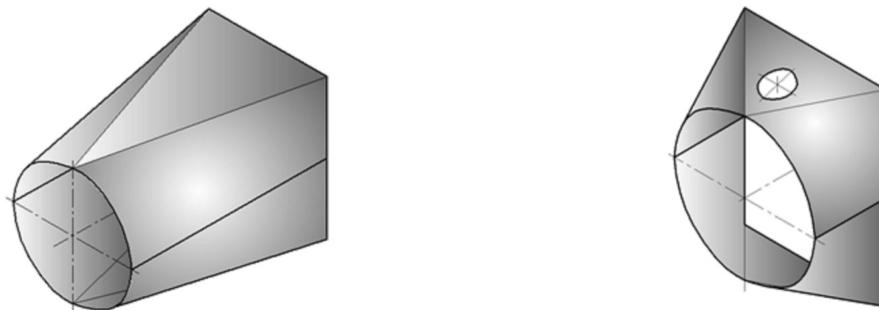


Рис. 1. Примеры диффузоров

Одним из путей интенсификации производства желобов, используемых для получения диффузоров является применение конического пуансона с давящими ребрами (см. рис. 2) [1]. В предлагаемом варианте получения необходимой формы листовых загото-

вок процесс обработки листового материала сопровождается пластической деформацией металла, т. е. происходит вдавливание заготовки при одновременном затягивании её в зону деформации.

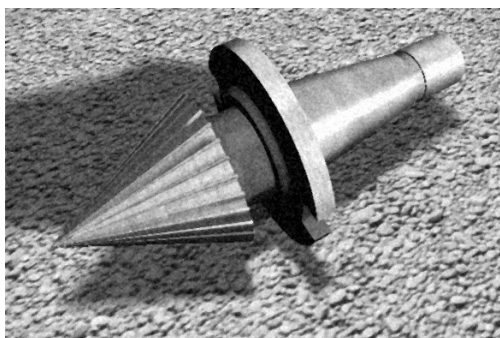


Рис. 2. Конический пуансон с давящими ребрами

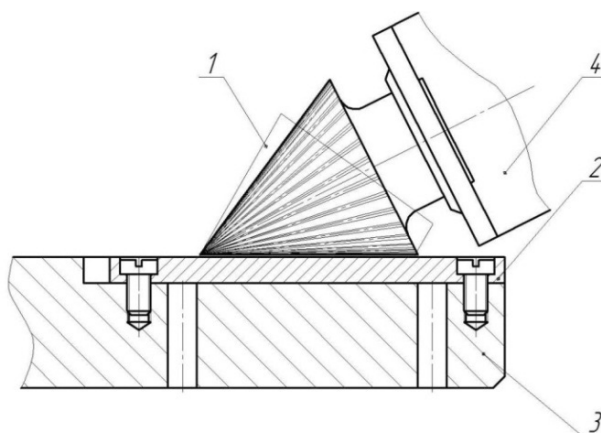


Рис. 3. Схема формоизменения плоской заготовки во время формообразования детали типа «диффузор»:
1 – заготовка; 2 – подкладка; 3 – нижняя плита; 4 – пуансон

При этом инструмент поворачивается всего на пол-оборота, т. е. на 180° (см. рис. 3). После чего инструмент возвращается в исходное положение со снятием деформирующей силы. Подобные перемещения возможно осуществить с помощью прецессионных прессов, модельный ряд которых на сегодняшний день довольно широк, либо же на традиционных прессах гидравлического или кривошипного типов с применением специальных приспособлений, позволяющих осуществлять проворачивание заготовки относительно инструмента. Примеры полученных желобов показаны на рис. 4.

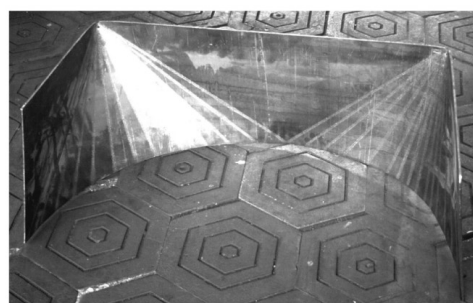
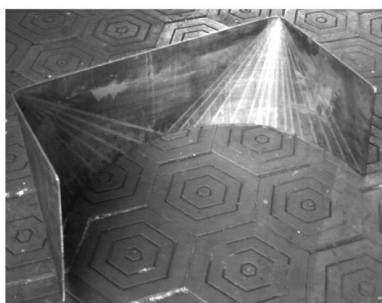


Рис. 4. Желоба, отформованные на гидравлическом прессе П6328 с использованием поворотного приспособления

Одним из факторов, оказывающих основополагающее влияние на процесс формообразования желобов на линиях внедрения ребер инструмента, является течение материала заготовки, распространяющееся в двух направлениях — от вершины инструмента к периферии заготовки вдоль линии контакта и перпендикулярно оси ребра в виде остаточной вмятины.

При обкатывании заготовок коническим инструментом с помощью простых геометрических построений невозможно определить ни направление, ни величину скорости скольжения. Поэтому для определения направления скоростей точек инструмента (давящего ребра) и заготовки был использован аппарат аналитической геометрии, предложенный в работе [2]. Анализ производился с применением декартовой системы координат, плоскость Oxy которой совпадает с плоскостью деформированной заготовки, а центр координат лежит на оси ее вращения (рис. 5).

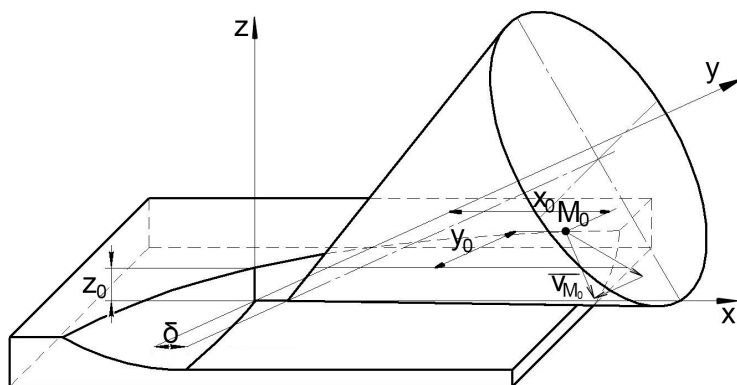


Рис. 5. Расчетная схема для определения угла между проекциями векторов скоростей точек контакта давящего ребра пуансона и заготовки на плоскость

В выбранной системе координат, согласно принятых на рис. 5 обозначений, уравнение поверхности давящего ребра (инструмента) может быть записано в виде:

$$F(x, y, z) = ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha)^2 + y^2 - \frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (1)$$

Определим линию начала контакта ребра и заготовки. При подаче инструмента линией начала контакта является парабола, которая образуется при пересечении плоскости $z = h$ с поверхностью ребра, описанного выражением (1), и описывается уравнением

$$y = \sqrt{\frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha)^2}. \quad (2)$$

Определим взаимное расположение векторов скоростей заготовки и инструмента точки $M_0(x_0, y_0, z_0)$, которая лежит на линии начала контакта $y_0 = y(a, h, \delta)$ на расстоянии $x_0 = R$ от оси вращения заготовки $z_0 = h$, а также направление вектора скорости точки M_0 , принадлежащей заготовке.

Так как инструмент совершает вращательное движение вокруг своей оси, осуществляя затягивание заготовки в зону дальнейшей деформации следующим ребром, вектор скорости точки M_0 ребра лежит на прямой пересечения плоскости, касательной к поверхности ребра в данной точке, и плоскости, проходящей перпендикулярно оси ребра через точку M_0 . Уравнение проекции этой прямой на плоскость $z = z_0$ имеет вид:

$$y = -\frac{x_0}{y_0} \cdot (x - x_0) + y_0. \quad (3)$$

Уравнение плоскости, касательной к поверхности ребра в точке M_0 запишем в виде:

$$\frac{\partial F}{\partial x} \cdot (x - x_0) + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot (y - y_0) + \frac{\partial F}{\partial z} \cdot (z - z_0) = 0, \quad (4)$$

где $\partial F / \partial x$, $\partial F / \partial y$, $\partial F / \partial z$ – частные производные от (1) по x , y , z соответственно.

Учитывая то, что плоскость проходит через точку $M_0(x_0, y_0, z_0)$, ее уравнение запишется в виде:

$$z = z_0 - \operatorname{tg} \alpha \cdot (x - x_0). \quad (5)$$

Тогда уравнение прямой, на которой лежит вектор скорости точки M_0 инструмента, имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x} \cdot (x - x_0) + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot (y - y_0) + \frac{\partial F}{\partial z} \cdot (z - z_0) = 0; \\ z = z_0 - \operatorname{tg} \alpha \cdot (x - x_0). \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, проекция вектора скорости точки ребра на плоскость $z = z_0$ определится по формуле:

$$y = m/l \cdot (x - x_0) + y_0, \quad (7)$$

где m, l – параметры направляющего вектора $\vec{s}(l; m; n)$ прямой (6), полученной пересечением плоскостей (4) и (5).

Исходя из формул (3) и (7), можно построить графики проекций прямых, содержащих в себе векторы скоростей инструмента и заготовки, показанные на рис. 6.

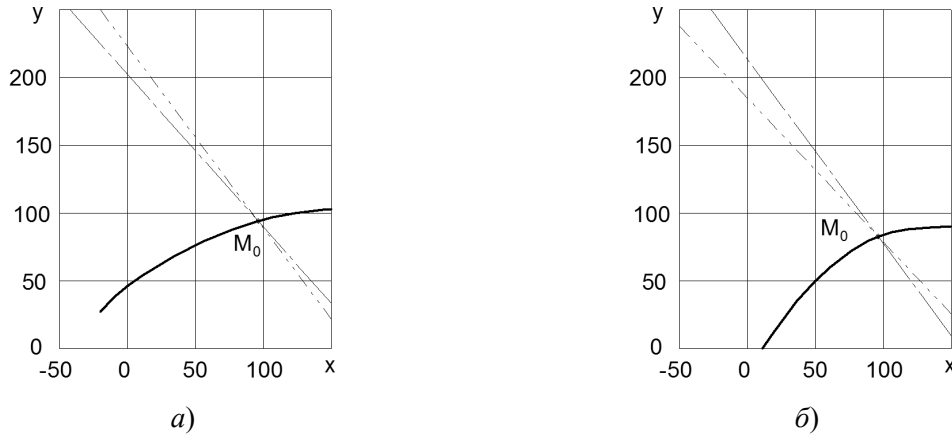


Рис. 6. Проекция прямых, на которых лежат векторы скоростей заготовки (штрих-пунктирная линия) и ребра инструмента (линия с двойным пунктиром), на плоскость $z = z_0$ при положительном (а) и отрицательном (б) смещении инструмента δ (сплошная линия – линия начала контакта)

В соответствии с расчетами, при положительном смещении инструмента (обкатка происходит по направлению от края заготовки к ее середине) материал течет вдоль линии контакта от вершины пуансона к основанию его рабочей части, а при отрицательном — к вершине. Поскольку линии изгиба заготовки сходятся в одну точку, вариант формообразования при положительном смещении инструмента является более приемлемым, так как позволяет избежать наплывов материала в точке контакта заготовки и вершины пуансона.

При исследовании характера течения материала в направлении, проходящем по нормали к пятну контакта инструмента и заготовки, выделим в поперечном сечении заготовки в очаге деформации продольными плоскостями элемент единичной длины δ_x (см. рис. 7, б).

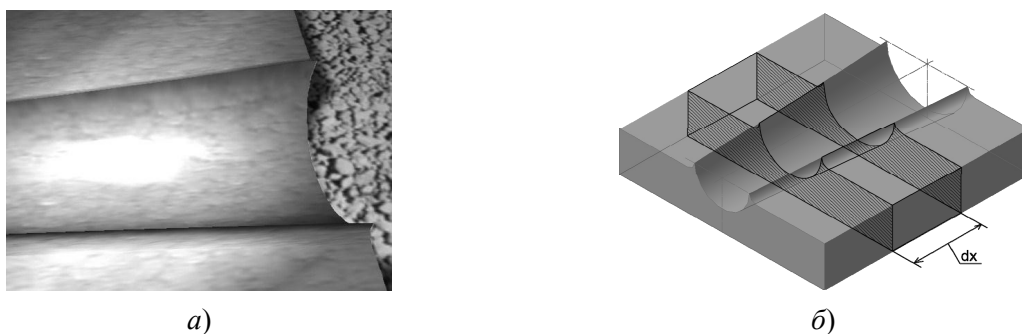


Рис. 7. Участок вдавливания ребра конического пуансона:
а – изображение остаточной вмятины, образующейся на линиигиба; б – выбор участка единичной длины для расчета напряженного состояния заготовки в зоне внедрения инструмента

Рассмотрим равновесие сил, действующих на этот элемент в сечении единичной длины, ограниченном плоскостями δ_x и $\delta_x + d\delta_x$ в декартовой системе координат (см. рис. 8). При вдавливании ребра инструмента с углом наклона относительно основания

заготовки, равно α , в сечении $d\delta_x$ действует усредненное напряжение σ_x и мгновенное давление ребра конического пуансона на материал заготовки в очаге деформации σ_n .

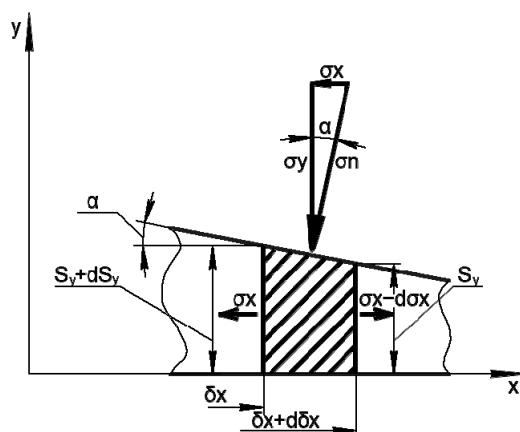


Рис. 8. Расчетная схема силового упругопластического контакта ребра инструмента и заготовки

Составим условие равновесия

$$-\sigma_x \cdot \delta_x + (\sigma_x - d\sigma_x) \cdot (\delta_x + d\delta_x) - \frac{\sigma_n \sin \alpha}{2} \cdot \frac{d\delta_x}{\sin \alpha} - \sigma_n \cdot f dx = 0, \quad (8)$$

где f – коэффициент трения металла заготовки о подкладную плиту или рабочий стол прессы.

Поскольку выделенный элемент заготовки имеет единичную длину, введем обозначение $\delta_x = s$. Таким образом, после произведения и суммирования подобных членов, выражение (8) примет вид:

$$-\sigma_x ds + d\sigma_x \cdot s = \left(0,5\sigma_n + \frac{\sigma_n \cdot f}{\operatorname{tg}\alpha} \right) ds. \quad (9)$$

Окончательно выражение (9) примет вид:

$$d\sigma_x / (\sigma_x + k) = ds / s, \quad (10)$$

где $k = 0,5\sigma_n + [\sigma_n \cdot f / \operatorname{tg}\alpha]$.

С учетом того, что на выбранном участке заготовки, ограниченном плоскостями s_0 и s_k , действует суммарное напряжение $\sigma_s = \sigma_x - \sigma_y$, проинтегрировав (10) на заданном участке, получим:

$$\int_0^{\sigma_s} \frac{d\sigma_x}{\sigma_x + k} = \int_{s_0}^{s_k} \frac{ds}{s}. \quad (11)$$

Преобразовывая далее выражение (11), установим напряжение, действующее на выбранном участке заготовки.

$$\ln \frac{\sigma_s + k}{k} = \ln \frac{s_k}{s_0}. \quad (12)$$

$$\sigma_s = \frac{s_k \cdot k - s_0 \cdot k}{s_0}. \quad (13)$$

Таким образом, окончательное решение равенства (8) будет иметь вид:

$$\sigma_s = \frac{(s_k - s_0) \cdot \left(0,5\sigma_n + \frac{\sigma_n \cdot f}{\operatorname{tg}\alpha} \right)}{s_0}. \quad (14)$$

Выводы. Полученные аналитические зависимости позволяют получить представление о характере течения материала заготовки при вдавливании и перекачивании конического пуансона с давальными ребрами и целенаправленно управлять интенсивностью течения металла в заданном направлении. Установлено, что при обкатывании инструментом заготовки по направлению от края заготовки к ее середине материал течет вдоль линии контакта от вершины пуансона к основанию его рабочей части, а при отрицательном — к вершине, что влияет на интенсивность и характер образования наплывов металла на отформованной заготовке. Если в первом случае течение металла компенсируется за счет упругого восстановления металла после снятия нагрузки, то во втором возможно образование наплывов, ведущих к возникновению напряжений сжатия в области вершины инструмента, что может воспрепятствовать получению требуемых геометрических размеров детали.

При течении металла в направлении, проходящем по нормали к пятну контакта инструмента и заготовки, вызванном непосредственным внедрением ребра инструмента в заготовку, решающее влияние на геометрию отпечатка контакта оказывают два параметра: угол α между кромкой ребер инструмента и поверхностью заготовки, образуемый в плоскости, проходящей нормально к поверхности заготовки через ось вращения инструмента, а также коэффициент трения f металла заготовки о подкладную плиту или рабочий стол прессы.

Литература

1. Пат. 6869/ЗУ/12 Україна, МПК В 26 F 1/00. Спосіб виготовлення деталей типу «дифузор» методом локальної деформації / Драгобецький В.В., Мороз М.М., Шлик С.В., Ревиниши Р.С., Коноваленко О.Д.; заявник і власник патенту Кременчуцький держ. ун-т ім. М. Остроградського. – заяв. 05.12.2011; опубл. 02.04.2012.

2. Матвийчук, В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов [Текст]: моногр. / В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.

© С.В. Шлык

С.В. Шлик, к.т.н., ст. викл.

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕТІКАННЯ МАТЕРІАЛУ ПРИ ГНУТТІ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК З ЛОКАЛІЗОВАНИМ ОСЕРЕДКОМ ДЕФОРМАЦІЇ

У статті наведено результати дослідження перетікання матеріалів при гнутті листових заготовок з локалізованим осередком деформації. Отримано аналітичні залежності характеру деформування, що дозволило керувати технологічним процесом. Установлено параметри основних факторів впливу на процес формоутворення конічних просторових заготовок методом гнуття.

Ключові слова: гнуття, дифузор, локальна деформація, конічний пуансон.

S.V. Shlyk, Ph.D., Senior Lecturer

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

RESEARCH OF A CURRENT OF THE MATERIAL IN BENDING SHEET METAL PARTS WITH LOCALIZED AREAS OF STRAIN

The article contains results of flow study materials in bending sheet metal parts with localized deformation region. Obtained the analytical dependencies of the deformation character, that allowed controlling the technological process. It was established the influence factors of the main parameters on the process of shaping the spatial conical workpieces by means of bending.

Keywords: bending, diffuser, the local deformation, cone-shaped punch.