

СТЕБЛЮК В.И., докт. техн. наук, проф., НТУУ “КПИ”, г. Киев
САВЧЕНКО Д.Н., асп., НТУУ “КПИ”, г. Киев
ШКАРЛУТА Д.Б., магистр, НТУУ “КПИ”, г. Киев

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕЗКИ ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ СДВИГОМ ВРАЩАЮЩИХСЯ ОПРАВОК

Рассмотрены две конструктивные схемы приспособления для безотходной резки тонкостенных трубчатых заготовок при одновременном поперечном сдвиге и кручении. Определены основные зависимости, характеризующие процесс резки трубчатых заготовок этим приспособлением.

Ключевые слова: тонкостенная трубчатая заготовка, безотходная резка, одновременный сдвиг и кручение.

Розглянуто дві конструктивні схеми пристрою для безвідходного розрізування тонкостінних трубчатих заготовок при одночасному поперечному зсуві і скручуванні. Визначені основні залежності, які характеризують процес розрізування трубчатих заготовок даним пристроєм.

Ключові слова: тонкостінна трубчатая заготовка, безвідходне розрізування, одночасний зсув та скручування.

The two functional diagrams of an adjustment for wasteless shearing of thin-wall tube stocks at simultaneous cross shift and torsion move are considered. Main relations to describe shearing process of tube stocks in the adjustment hereby are established.

Keywords: thin-wall tube stocks, wasteless shear, simultaneous cross shift and torsion move

Для безотходной резки тонкостенной трубчатой заготовки (ТТЗ) с гладкой поверхностью среза, перпендикулярной ее оси, предложен способ одновременного поперечного сдвига и кручения [1].

Суть его состоит в том, что ТТЗ помещается между двумя парами оправок, прилегающих друг к другу торцами и соединенных осью, эксцентричной относительно их общей оси симметрии (ТТЗ и обеих пар оправок) в исходном положении (рис.1). При вращении одной пары оправок относительно другой происходит поперечный сдвиг и кручение отрезаемой части ТТЗ.

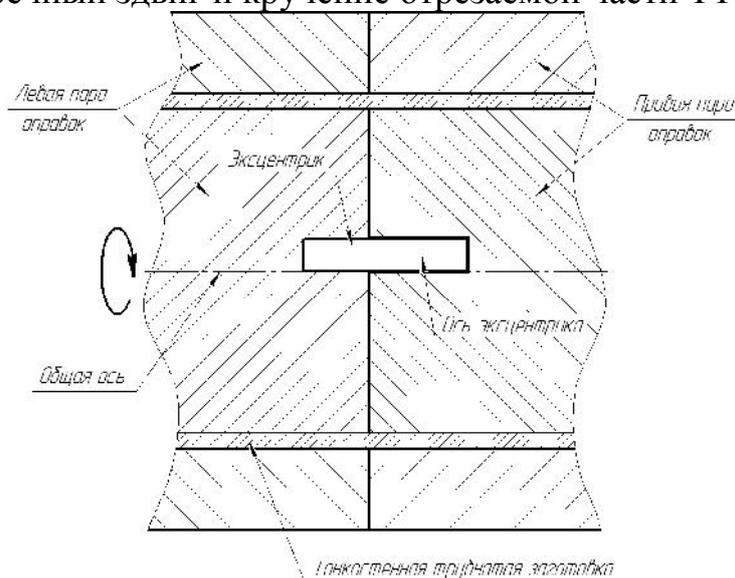


Рис.1. Схема резки ТТХ сдвигом вращающихся оправок.

Конструктивно, устройство для отрезки может быть выполнено по двум схемам:

1. Одна пара оправок (например, левая), вместе с эксцентричной осью, остаются неподвижными, а правая пара вращается внешним крутящим моментом поворачивается вокруг оси эксцентрика.
2. Левая пара оправок, вместе с эксцентриком, вращаются относительно общей оси симметрии, а правая – удерживается от вращения, но может совершать плоско-параллельное движение в плоскости, перпендикулярной оси симметрии оправок. Эксцентрик, по отношению к правой паре оправок, исполняет роль водила, поэтому ось симметрии последней опишет окружность радиусом, равным эксцентриситету e и центром, расположенным ниже общей оси симметрии левой пары оправок на эту же величину (e).

Хотя механизм отрезки, в обоих случаях, один и тот же, способы отличаются методом образования очагов деформации и направлением их распространения. Рассмотрим подробнее процесс отрезки по первой схеме.

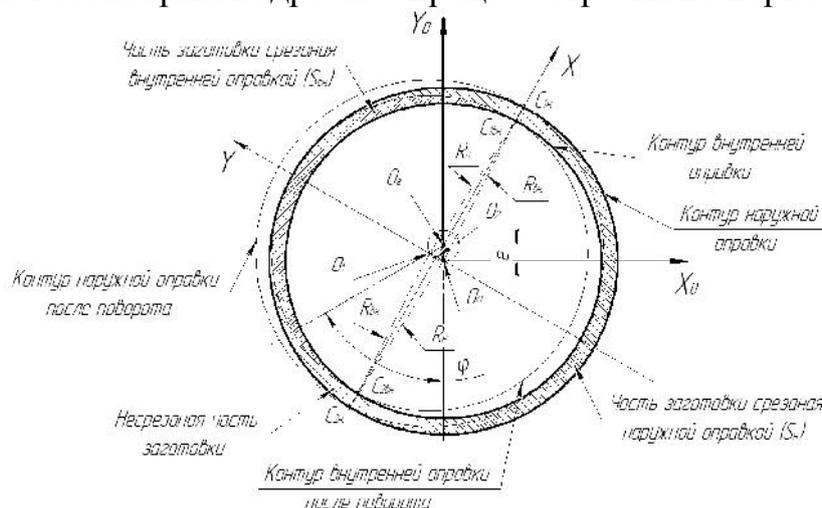


Рис.2. Последовательность разделения ТТЗ одновременным сдвигом и кручением при вращении правой пары оправок относительно оси эксцентрика

При вращении правой пары оправок вокруг эксцентрика (рис. 2.), ее ось описывает окружность радиуса e , сдвигая, при этом, ТТЗ. Величина и направление данного сдвига зависят от угла поворота правой пары оправок.

Если в начальный момент времени обе пары оправок находятся на одной оси симметрии (т. O_0), то при повороте, по часовой стрелке, на угол φ , ось симметрии правой пары оправок будет проходить через точку O_1 и оправки сместятся влево вверх. При этом внутренняя оправка правой пары и наружная оправка левой образуют сопряженные режущие кромки и вызывают серпообразный надрез на наружной поверхности отрезаемой ТТЗ (на половине ее внешней поверхности). Диаметрально противоположно сопряженные режущие кромки создаются внутренней оправкой левой пары и внешней оправкой правой пары, производя серпообразный надрез на внутренней поверхности отрезаемой ТТЗ (на половине ее внутренней поверхности). Таким образом, надрез ТТЗ происходит по всему периметру: на одной половинке с внешней стороны, на другой – с внутренней (по отношению к правой, отрезаемой части ТТЗ). Но

глубина надреза изменяется от 0 на краях надреза, до некоторого максимального значения в середине. Точки смыкания правого и левого надрезов, C_1 и C_2 , по мере поворота оси эксцентрика, перемещаются по периметру ТТЗ, а сдвиг одной части заготовки относительно другой изменяется непрерывно по направлению и величине. Если в начальный момент, при повороте на некоторый малый угол φ_0 , сдвиги в точках C_1 и C_2 практически равны нулю, а максимума сдвиг достигает в определенной точке C_m (по середине периметра между точками C_1 и C_2) но, при этом, не достигает величины, при которой наступает пластическая деформация, то по мере поворота точки C_1 и C_2 смещаются на участки ТТЗ, где уже, на предшествующих стадиях, произошел некоторый сдвиг (упругий или пластический) и минимальное смещение.

При некотором угле поворота φ_{nl} (рис. 3.) максимальный сдвиг достигнет величины, при которой в данном месте происходит необратимое смещение одной части ТТЗ относительно другой. Собственно с этого момента и начинается отрезка.

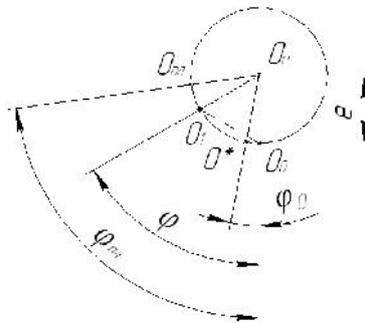


Рис. 3. Положение оси симметрии правой пары оправок при повороте ее вокруг эксцентрика.

При дальнейшем повороте, при некотором значении угла φ_{max} , в точке O_{nl} происходит полное локальное разделение частей ТТЗ, то есть максимальный сдвиг:

$$s_{max} \geq s_{заг} = R_n - R_{вн}, \quad (1)$$

где:

$s_{заг}$ – толщина стенки ТТЗ;

$R_n, R_{вн}$ – соответственно наружный и внутренний диаметры ТТЗ.

Следует подчеркнуть, что внешний крутящий момент вызывает в заготовке касательные напряжения от поперечного сдвига и кручения. Если считать, что касательные напряжения, вызванные скручиванием одной части ТТЗ относительно другой, равномерно распределены по толщине стенки (что допустимо для ТТЗ у которых $s_{заг}/D_{заг} < 0,25$), то соответствующая им часть крутящего момента недостаточна для пластической деформации кручением:

$$M_{кр} < \frac{\pi}{2} \cdot \tau_s \cdot (R_n^2 - R_{вн}^2) \cdot (R_n + R_{вн}). \quad (2)$$

Поэтому пластическая деформация ТТЗ осуществляется одновременно сдвигом и кручением. Это подтверждается и деформацией координатной сетки, нанесенной на поверхность заготовки.

В дальнейшем разделение перемещается в направлении поворота, пока не достигнет точки, где произошло аналогичное разделение, в правой части заготовки. Процесс разрезки ТТЗ заканчивается смыканием "наружного" и "внутреннего" надрезов.

Определим основные зависимости, характеризующие процесс отрезки ТТЗ указанным приспособлением. При этом для простоты примем, что ТТЗ помещается между оправками без зазора, влияние которого на процесс отрезки рассмотрим отдельно. Пусть в исходном положении неподвижная ось вращения левой пары оправок, а также ось симметрии правой пары совпадают (проходят через точку O_0), то есть обе пары оправок, и находящаяся в них ТТЗ соосны. При повороте левой пары и эксцентрика на угол φ оси симметрии правой пары и ТТЗ переместятся по окружности радиуса e в точку O_1 (рис. 2), сместившись, при этом, влево и вверх относительно левой пары, и вызвав сдвиг отрезаемой части заготовки.

Границы сдвига определяются относительным положением контуров правых оправок относительно левых. Для их определения рассмотрим отдельно смещения внутренней и внешней оправок правой пары относительно левой. На рис.2. показано положение внутренней правой оправки в начальный момент, когда ее ось совпадает с неподвижной осью левой оправки, проходящей через точку O_0 , и ее положение после поворота левой оправки с эксцентриком на угол φ , когда ось правой оправки пройдет через точку O_1 . Так как обе внутренние оправки имеют один и тот же радиус $R_{вн}$, проведенный из центров O_0 и O_1 , то линия, соединяющая диаметрально противоположные точки пересечения $C_{вн1}$, $C_{вн2}$ указанных окружностей, должна проходить через середину отрезка O_1O_0 и центр эксцентрика. Для упрощения последующего анализа, в частности, определения текущей площади сдвига, выберем систему координат с началом в середине указанного отрезка и осями координат повернутыми относительно стандартного положения на угол $(\pi-\varphi)/2$.

Координаты точек $C_{вн1}$ и $C_{вн2}$ в данной систем координат определим из треугольников $O_2O_0C_{1вн}$ и $O_2O_1C_{2вн}$:

$$\begin{aligned} x_{C_{1вн}} &= \sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi/2))^2}, & y_{C_{1вн}} &= 0; \\ x_{C_{2вн}} &= -\sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi/2))^2}, & y_{C_{2вн}} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Координаты центров левой пары оправок (т. O_0) и правой в новом положении (после поворота на угол φ) находим из треугольника $O_0O_1O_e$:

$$\begin{aligned} x_{O_0} &= 0, & y_{O_0} &= -e \cdot \sin(\varphi/2); \\ x_{O_1} &= 0, & y_{O_1} &= e \cdot \sin(\varphi/2). \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда уравнения окружностей, ограничивающих внутренние оправки в новой системе координат ХОУ будут следующими:

- левой внутренней оправки с центром в точке O_0 :

$$x^2 + (y - e \cdot \sin(\varphi/2))^2 = R^2; \quad (5a)$$

- правой – с центром в точке O_1 :

$$x^2 + (y + e \cdot \sin(\varphi/2))^2 = R^2. \quad (5б)$$

Разрешив эти уравнения относительно оси Y, и решив соответствующее квадратное уравнение, найдем y, как функцию от x:

- для правой (сместившейся) оправки:

$$y_1 = -e \cdot \sin(\varphi / 2) \pm \sqrt{R^2 - x^2}; \quad (6a)$$

- для левой ("неподвижной") оправки:

$$y_2 = e \cdot \sin(\varphi / 2) \pm \sqrt{R^2 - x^2}. \quad (6б)$$

"Сдвинутую" площадь, на одну половину периметра ТТХ, соответствующую углу φ , определим как разность определенных интегралов функций (6a) и (6б):

$$\begin{aligned} S(\varphi) &= \int_{X_{C1}}^{X_{C2}} y_2(x) dx - \int_{X_{C1}}^{X_{C2}} y_1(x) dx = \int_{-\sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi / 2))^2}}^{\sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi / 2))^2}} 2e \cdot \sin(\varphi / 2) dx = \\ &= 4e \cdot \sin(\varphi / 2) \cdot \sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi / 2))^2} \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнение (7) определяет общий вид зависимости поверхности сдвига, как с внутренней, так и с внешней стороны ТТЗ. Поэтому, при вычислении каждой из них отдельно, достаточно заменить $R=R_{вн}$ или $R=R_n$ соответственно. Все выше сказанное относится и к последующим формулам в тексте.

Представляет интерес приращение срезанной площади с возрастанием угла φ . Для этого найдем дифференциал функции $S(\varphi)$:

$$dS(\varphi) = 8e \cdot \left[\cos(\varphi / 2) \cdot \sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi / 2))^2} - \frac{\sin \varphi}{2 \cdot \sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi / 2))^2}} \right] \cdot d\varphi \quad (8)$$

Следует подчеркнуть, что функция $S(\varphi)$ определяет только общую "срезанную" часть стенок трубы, но не определяет текущую площадь сдвига, так как она в значительной степени включает "сдвинутую" на предыдущих стадиях поверхность, что легко установить пользуясь компьютерными методами, в частности средствами "Компас-график". Другими словами, $S(\varphi)$ определяет всю "сдвинутую" поверхность заготовки за время поворота правой пары оправок относительно оси эксцентрика. Поэтому оставшуюся часть поверхности, подлежащей сдвигу, определим как разность:

$$F_0 - S(\varphi), \quad (9)$$

где:

$F_0 = \pi \cdot [(R_{вн} + s)^2 - R_{вн}^2]$ – площадь поперечного сечения трубы;

s – толщина стенки трубы.

Текущий относительный сдвиг, соответствующий углу φ , составит:

$$\psi(\varphi) = \frac{\Delta S(\varphi)}{S_0} = \left[\pi \cdot [(R_{вн} + s)^2 - R_{вн}^2] - S(\varphi) \right] \quad (10)$$

или

$$\psi(\varphi) = \left[\frac{\pi \cdot [(R_{вн} + s)^2 - R_{вн}^2] - 4e \cdot \sin(\varphi / 2) \cdot \sqrt{R^2 - (e \cdot \sin(\varphi / 2))^2}}{\pi \cdot [(R_{вн} + s)^2 - R_{вн}^2]} \right]. \quad (10a)$$

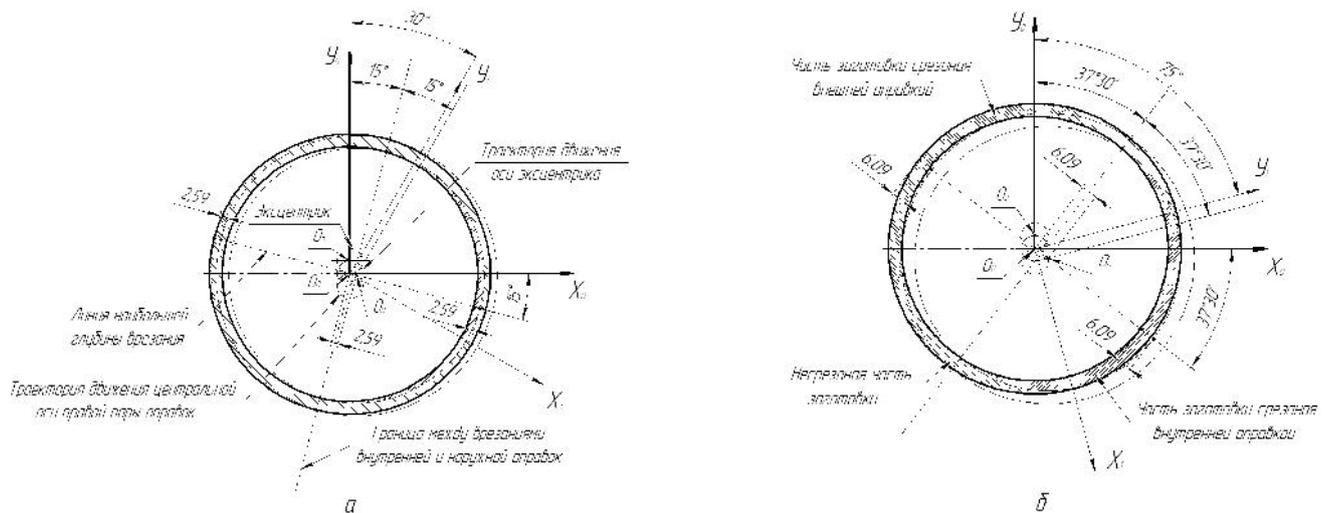


Рис.3. Последовательность разделения ТТЗ одновременным сдвигом и вращением при вращении левой пары оправок с эксцентриком относительно общей оси симметрии оправок: а–положение инструмента при угле поворота 30°; б–то же, для угла поворота 75°

На рис.3. показаны два момента сдвига с кручением по второй конструктивной схеме, из которой следует, что закономерности, установленные для первой схемы, остаются в силе.

Список литературы: 1. В.И. Стеблюк, Д.Н. Савченко, Ю.Г. Розов. Способы резки труб на короткие заготовки и перспективы их усовершенствования. // Вестник НТУУ "КПИ" – 2008. – № 53. – С. 199-201.

УДК 621.771

Ю.О. ПЛЕСНЕЦОВ, канд. техн наук, зав. каф. «ОМТ», НТУ «ХП»
О.С. ЗАБАРА, инженер, ТОВ «ІПРИС-профіль», м. Харків
Т.Л. КОВОРТНИЙ, асистент, НТУ «ХП»
ЛЮБИМОВ М.С., студент, НТУ «ХП»

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ЗАМКНЕНОГО ПЕРЕТИНУ

В роботі встановлено, що гнуті профілі замкнутого перетину знаходять широке застосування в сучасному будівництві, сільськогосподарському будівництві і у виготовленні сталевих меблів. Найбільша кількість розробок, що виконана раніше, спрямована на реалізацію технологій виробництва ГПЗП із заготовки 2мм і більше. Для створення імпортозамінних технологій виробництва ГПЗП в Україні потрібне виконання НДР

В работе установлено, что гнутые профили замкнутого сечения находят широкое применение в современном строительстве, сельскохозяйственном строительстве и в изготовлении стальной мебели. Наибольшее число разработок, выполненных ранее, направлено на реализацию технологий производства ГПЗС из заготовки толщиной 2 мм и больше. Для создания импортозамещающих технологий производства ГПЗС в Украине необходимо выполнение НИР.

In current work is determined that roll forms of closed section find wide application in modern construction, agricultural construction and in production of steel furniture. Most works, completed earlier, are directed on realization of technologies of production of CSRF from 2 mm thick workpiece and more. To create the import-replacing technologies of CSRF production in Ukraine the researches are required.