

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 RU 2219212 C1, 2003.
- 2 RU 2223304 C1, 2004.
- 3 Довгяло, В. А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров / В. А. Довгяло, О. Р. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1992. – 256 с.
- 4 Песецкий, С. С. Исследование литевых адгезионных соединений полиамидов с металлами: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / С. С. Песецкий. – Рига, 1980. – 16 с.
- 5 BY 10391 C1, 2006.
- 6 Rilsan. Проспект фирмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Atofina. www.atofina.com. – Дата доступа 20.05.2020.

УДК 621.961

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПУАНСОНА В ПРОЦЕССЕ ПРОБИВКИ

Онысько С.Р.¹, Чекап Н.М.², Мартиновская О.В.¹

1) Брестский государственный технический университет;

г. Брест, Республика Беларусь

2) Физико-технический институт НАН Беларуси;

г. Минск, Республика Беларусь

При изготовлении инструмента, работающего в условиях интенсивных ударных нагрузок, применяется высокохромистая сталь марки X12M. Анализ литературных источников [1-4] показывает, что срок службы деталей штампового оборудования зависит от степени проявления двух процессов, приводящих к разрушению торцевой поверхности инструмента – изнашивания и проявления усталости металла, в основе которых лежит многократная деформация поверхностного слоя, вызывающая постепенное нарастание наклепа на рабочей поверхности и охрупчивания последней, с последующим отделением частиц износа (изношенного материала). В связи с этим используемые для изготовления пробивного инструмента стали должны иметь рационально подобранное сочетание двух во многом противоположных свойств: достаточной твёрдости и повышенной вязкости [1].

При взаимодействии пробивного инструмента с обрабатываемой деталью нагрузка на пуансон должна распределяться равномерно по всему торцевому сечению (рисунок 1а) и равняться технологическому усилию пробивки. Однако при получении отверстий небольших диаметров возможно такое нагружение, когда с одного края рабочей кромки действующая нагрузка практически равна нулю, а к другому краю она линейно возрастает (рисунок 1б). Такой вид нагружения может приводить к искривлению пуансона [5] и появлению недопустимых изгибающих моментов. Основной причиной их возникновения является внецентренное приложение ударной нагрузки, вызванное рядом различных факторов (неточность изготовления инструмента, стабильность работы самого пресса, состояние поверхности листового материала и т.п.).

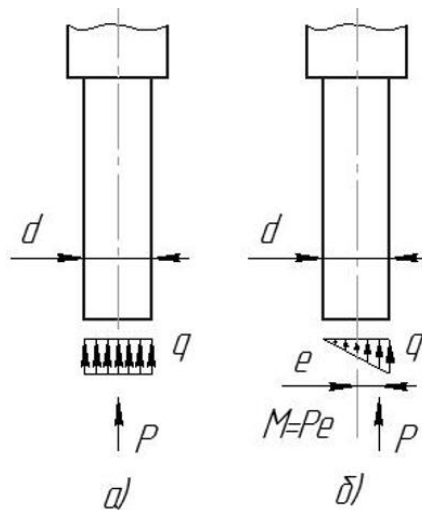


Рисунок 1. – Схема нагружения пробивного инструмента

Возникающие максимальные нормальные сжимающие и растягивающие напряжения при пробивке отверстия рассчитываются по формуле:

$$\sigma_{\max} = -\sigma_N \pm \sigma_M, \quad (1)$$

где: σ_N – напряжение от продольного сжатия, МПа;

σ_M – напряжение от изгиба, МПа.

Подставляя в формулу (1) значения напряжений получаем:

$$\sigma_{\max} = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{W_x} = -\frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} \pm \frac{Pe \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}} = -\frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} \pm \frac{P \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{P}{A} \left(-1 \pm \frac{4}{3}\right), \quad (2)$$

где: M – изгибающий момент, Нм;

W_x – осевой момент сопротивления, м³.

Таким образом, максимальные напряжения сжатия в инструменте достигнут значения минус $2,3P/A$, что может повлиять на изменение геометрии торцевой поверхности, ухудшение качества пробиваемого отверстия и в итоге – выход из строя оснастки вследствие изнашивания штампового инструмента [5].

Данный недостаток может быть устранен за счет уменьшения длины рабочей части инструмента, так как при этом происходит снижение гибкости, что положительно сказывается на его работе, исключает искривление оси и потерю устойчивости в технологическом процессе.

Как было установлено в процессе экспериментальных исследований [6] во время работы пробивного пуансона, на его торцевую рабочую поверхность воздействует значительная нагрузка и процесс пробивки в большинстве случаев сопровождается внецентренным приложением нагрузки P (рисунок 2) которая может привести к искривлению или поломке длинной рабочей части, поэтому нельзя пренебрегать боковыми деформациями инструмента [6], которые могут быть определены по формуле:

$$y = \frac{e}{\cos kl} (1 - \cos kz). \quad (3)$$

где: y – горизонтальное отклонение произвольной точки на оси пуансона, мм.
 e – величина эксцентриситета приложения нагрузки, мм;
 k – коэффициент учитывающий жесткость инструмента;
 z – произвольное сечение перпендикулярное оси пуансона.

В соответствии с имеющимся подходом к теории расчета внецентренно нагруженного элемента, важным параметром является точка приложения действующей нагрузки, величину смещения которой от центра инструмента, можно определить при помощи эллипса деформаций.

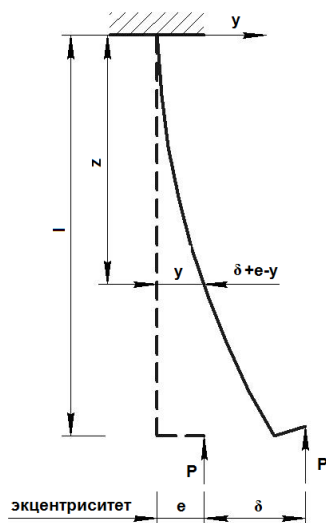


Рисунок 2. – Схема для расчета внецентренно-сжатого инструмента

В работе [7] при помощи тензометрического комплекса «ТИССА» было определено перемещение приповерхностных слоев пробивных пуансона. Так, после снятия сигналов фиксировалось различие в перемещениях, поэтому полученные значения в трех точках и заданные углы между ними однозначно определяют эллипс деформаций, построенный в полярных координатах (рисунок 3), где радиусы-векторы a , b , c , начало координат которых располагается в одной из точек фокуса эллипса (F_1), определяют величину деформаций, фиксируемую каждым соответствующим датчиком.

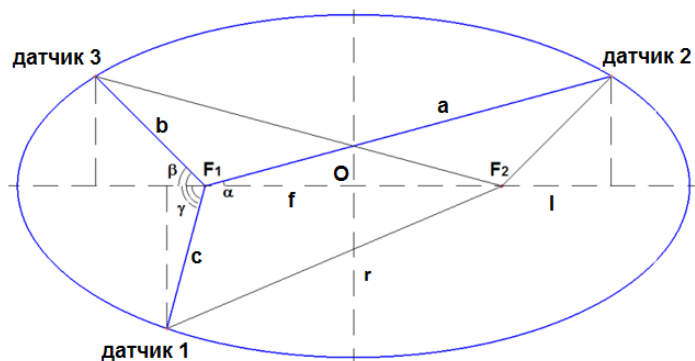


Рисунок 3. – Эллипс деформаций при несоосном нагружении пуансона

Для построенного эллипса большая его полуось l и расстояние от центра до фокуса f связаны между собой соотношениями:

$$\begin{aligned}
\sqrt{a^2 \sin^2 \alpha + (a \cos \alpha - f)^2} + a &= l \\
\sqrt{(b \cos \beta + f)^2 + b^2 \sin^2 \beta} + b &= l, \\
\sqrt{(c \cos \gamma + f)^2 + c^2 \sin^2 \gamma} + c &= l
\end{aligned} \tag{4}$$

где: углы $\beta = 60 - \alpha$, $\gamma = 60 + \alpha$.

Система уравнений (4) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} -2as \cos \alpha + f^2 = l^2 - 2al \\ 2bs \cos \beta + f^2 = l^2 - 2bl \\ 2cs \cos \gamma + f^2 = l^2 - 2cl \end{cases}, \tag{5}$$

из которого может быть получена длина большой полуоси l .

$$l = \frac{a \cos \alpha + \frac{1}{2} b \cos \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} b \sin \alpha}{a - b}. \tag{6}$$

Величина эксцентриситета эллипса деформаций, характеризующая его протяженность, определяется отношением:

$$e = \frac{f}{l} = \frac{a - b}{a \cos \alpha + b \cos \beta}, \tag{7}$$

где углы α и β рассчитываются по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{3} a \frac{c - b}{ab - 2bc + ac}, \tag{8}$$

$$\cos \beta = \cos(60 - \alpha) = \frac{1}{2} \cos \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \alpha. \tag{9}$$

Подставляя в уравнение (7) значения электрических сигналов, пропорциональных деформациям от датчиков после испытаний пуансона во время пробивки отверстия, получаем величину эксцентриситета эллипса деформаций, которая в данном эксперименте составляет $0,42$ и является характерной для серии испытаний, проведенных с другими пуансонами.

Так как величина эксцентриситета для эллипса всегда находится в пределах от нуля до единицы, то согласно схемы внецентренного нагружения (рисунок 1б), точка приложения нагрузки на пуансон в процессе экспериментов составила $0,21d$, что при диаметре пуансона $4,16$ мм, соответствует расстоянию $0,87$ мм от центра инструмента.

На основании данных, полученных при проведении испытаний по определению относительной деформации, и вычисленных значений действующей нагрузки на пуансон, было определено поперечное смещение

рабочей кромки пробивного инструмента, получаемого при отсутствии точного центрирования. Результаты проведенных расчетов показаны на рисунке 4.

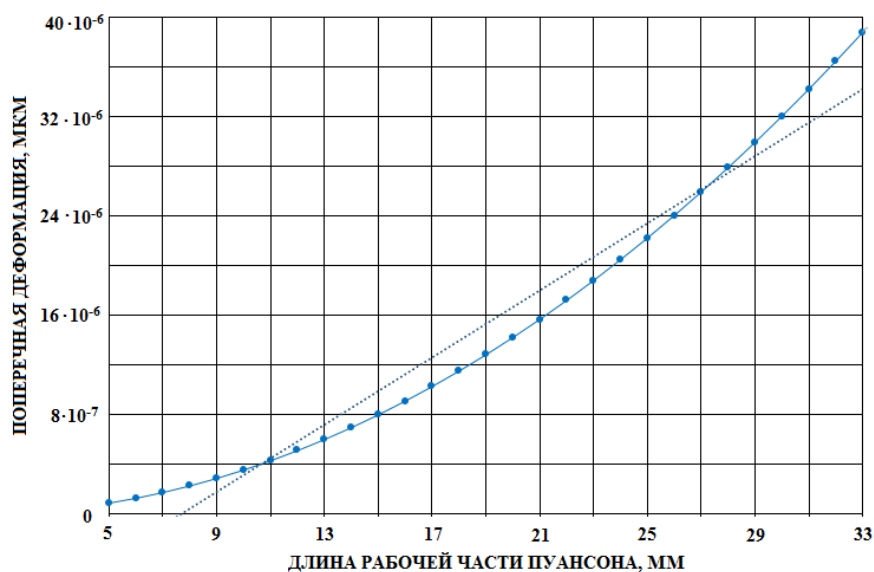


Рисунок 4 – Характер зависимостей поперечной деформации пуансона от длины рабочей части

Расчеты бокового смещения показывают, что максимальная деформация возникает в инструменте и она нелинейно снижается при уменьшении длины рабочей части пуансона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Околович, Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов : монография / Г. А. Околович ; Алтайский государственный технический университет им. И/ И. Ползунова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2010. – 202 с.
2. Сорокин, Г. М. Виды износа при ударном контактировании поверхностей / Г. М. Сорокин // Машиноведение. – 1974. – № 3. – С. 89–94.
3. Виноградов, В. Н. Изнашивание при ударе / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, А. Ю. Албагачиев. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.
4. Георгиев, М. Н. Роль трещиностойкости в изнашивании гетерофазных штамповых сталей при вырубке / М. Н. Георгиев, Г. С. Фукс-Рабинович // Физико-химическая механика материалов. – 1987 – Т. 23, № 3. – С. 63–66.
5. Повышение эксплуатационных свойств цилиндрических пуансонов путем оптимизации их геометрических параметров / С. Р. Онысько, В. М. Хвисевич, Н. М. Чекан, Н. Н. Пушко // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия «Машиностроение», 2017. – № 4. – С. 6–11.
6. Онысько, С. Р. Определение усилий упрочненных цилиндрических пуансонов и их относительной деформации в технологических процессах пробивки отверстий / С. Р. Онысько, В. М. Хвисевич, И. . Томашев // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия «Машиностроение», 2018. – № 4. – С. 39–42.
7. Онысько, С. Р. Технология нанесения упрочняющих покрытий на основе карбонитрида циркония на пробивные пуансоны катодно-дуговым методом : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / С. Р. Онысько. – Минск, 2020. – 160 л.