

УДК 621.7

**В.Л. Хорольский**

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского*

## К вопросам определения напряженно-деформированного состояния при отрезке деталей в штампах

В работе рассмотрены вопросы определения нормальных и касательных нагрузок, действующих на режущие кромки отрезных штампов, получены уравнения для определения произвольных постоянных нагрузок. Выполнены экспериментальные исследования определения направления течения отрезаемого металла.

**отрезные штампы, режущие кромки, напряжения, течение металла**

**В.Л. Хорольський**

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*

**До питань визначення напружено-деформованого стану при відрізання деталей у штампах**

У роботі розглянуті питання визначення нормальних і дотичних напружень, що діють на різальні кромки відрізних штамтів, отримані рівняння для визначення похідних постійних навантажень. Виконано експериментальні дослідження визначення напрямку течії металу, що відрізають.

**відрізні штампи, різальні кромки, напруження, течія металу**

**Постановка задач исследований.** Повышение производительности процесса обработки кромок листовых деталей под сварку с применением штамповой оснастки и прессового оборудования является важной задачей производства сельскохозяйственной техники. Однако при этом остается проблема стойкости штампового инструмента. При этом трудности внедрения более износостойких твердосплавных разделительных штампов усугубляются недостаточной разработкой теории процесса резки штампами. Большинство твердосплавных отрезных штампов выходит из строя вследствие хрупкого разрушения – скалывания режущих кромок матриц и пуансонов. Поэтому изучение хрупкого разрушения режущих кромок штампового инструмента является актуальным.

Хрупкое разрушение при отрезке происходит, когда возникающие в режущей части матриц и пуансонов напряжения превосходят предел прочности материала инструмента при повторных ударных нагрузках. Для определения напряжений, возникающих в режущей части матриц и пуансонов, необходимо знать нагрузки, действующие на режущие кромки в процессе отрезки. Эти нагрузки обуславливаются напряженным состоянием отрезаемого материала в зоне действия рабочих элементов штампа.

Поэтому одной из основных задач настоящего исследования является определение нагрузок, действующих по контактным поверхностям режущего инструмента с отрезаемым материалом.

**Анализ предыдущих исследований.** Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния при отрезке деталей выполнены такими исследователями, как А.Ф. Лобовым [1], Г.А. Смирнов-Аляевым [2], И.А. Норицыным, П.К. Кислым и др. [3]. По существу все эти исследования касались механики процесса

резки, определению усилия и работы резки и совершенно не исследовали усилий, действующих на рабочий инструмент (пуансон и матрицу). Первый анализ сил, действующих на инструмент при резке, приведен в работе Б.П. Звороно [4], в которой проведены исследования по определению сил трения вырезаемого металла о стенки матрицы и даётся величина распирающего усилия.

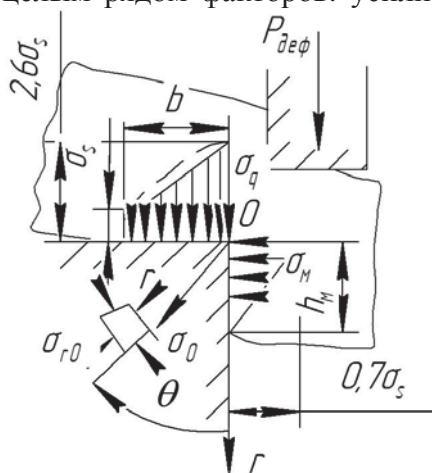
Все исследователи отмечают наличие концентрации напряжений на режущих кромках пуансона и матрицы, однако первую теоретическую попытку её количественного определения сделал В.Д. Головлёв [3]. Он принимает, что изменение нормального напряжения на пояске смятия (торцевой контактной поверхности вырезаемого металла с рабочим инструментом-пуансоном) происходит по параболическому закону. Данная работа позволила в первом приближении оценить величину максимальных напряжений на кромке.

Количественное исследование напряженного состояния материала при резке и напряжений, возникающих на контактных поверхностях, приведено П.Д. Чудаковым [5]. Однако необходимо отметить, что полученные выражения громоздки, а вычисление интересующих величин трудоёмко и требует наличия экспериментальных данных.

В связи с этим вопросы определения напряжений на режущих кромках твердосплавного рабочего инструмента при отрезке приобретают особое значение.

Напряжения в твердосплавном рабочем инструменте при отрезке вызываются целым рядом факторов: усилием резания, неравномерным распределением температур во время резания, остаточными напряжениями, возникающими в процессе изготовления рабочего инструмента, неоднородным составом твердого сплава и др.

Применяя охлаждение рабочих деталей штампа, температурные напряжения можно значительно снизить. Совершенствуя технологию получения и обработки твердосплавных деталей, можно устранить остаточные напряжения. Поэтому определяющими можно считать напряжения, возникающие на режущих кромках рабочего инструмента от усилия резания. **Целью** данного исследования и является определение этих напряжений без учёта влияния других факторов на напряженное состояние рабочих деталей отрезных штампов.



$\sigma_s$  - напряжение текучести отрезаемого металла при деформации  $\epsilon = 0,2$

Рисунок 1 – Схема нормальных нагрузок, действующих на режущие кромки рабочего инструмента

пуансонов, представлены на рис. 1, где для упрощения задачи кривые заменены прямыми линиями. По боковой, вертикальной (рис. 1), поверхности действуют силы трения при проталкивании отрезаемого металла. На основании работ Б.П. Звороно [4] и М.Е. Зубцова [6] можно принять среднее значение коэффициента трения по боковой поверхности равным  $f_2 = 0,20 \dots 0,25$ .

Относительно коэффициента трения по пояску смятия, т.е. по торцевым поверхностям соприкосновения пуансона и матрицы с заготовкой точные данные отсутствуют. Если значение  $f_1$  принять равным среднему по длине контакта коэффициенту трения, то это представит известное приближение. По данным А.Г. Лисина [7] коэффициент трения по пояску смятия при отрезке штампами равен  $f_1 = 0,2$ .

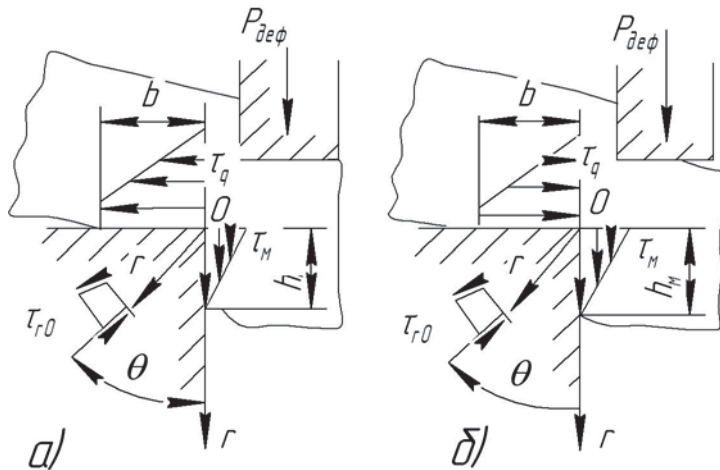
Примерно такое же значение коэффициента трения дается и в работе [8].

Анализ поля скоростей при отрезке показывает, что отрезаемый материал стремится течь к зазору. Однако, ввиду большого сопротивления течению, создаваемого относительно малым объёмом металла в зазоре и его упрочнением при отрезке без прижима вся заготовка будет раздаваться, т.е. будет иметь место течение металла от зазора.

Определенный малый объём металла возле режущей кромки может течь к зазору, однако основной объём металла будет перемещаться от зазора, деформируя (изгибая) отрезаемый лист. Это подтверждают результаты исследований, проведенных А. Г. Лисиным.

При отрезке с прижимом, усилие которого достаточно для предотвращения течения металла по пояску смятия, течение металла будет незначительным, а значит незначительным будет и утонение металла у зоны среза, т.е. получение более ровного среза.

В действительности ширина области, охваченная течением материала в сторону зазора, по сравнению с общей шириной пояска смятия незначительна [7]. Точное определение касательных напряжений по торцовой поверхности в настоящее время не представляется возможным, поэтому рассмотрим два случая: 1) при направлении касательных напряжений по торцовой поверхности от зазора и 2) при направлении к зазору.



а) при течении отрезаемого металла от зазора; б) при течении отрезаемого металла к зазору

Рисунок 2 – Схема касательных нагрузок, действующих на режущие кромки рабочего инструмента

Распределение касательных напряжений по торцовой и боковой поверхности рабочего инструмента при отрезке для этих двух случаев нагрузки представлено на рис. 2.

Рассматривая режущую кромку штампового инструмента, как клин под действием нагрузки, приложенной по наклонным граням, можно определить напряжения, возникающие в нем в процессе отрезки. Рассматривать режущую кромку отрезной матрицы как клин под действием нагрузки, приложенной по его наклонным граням, предложил

В.П. Смолянинов [9]. Определение напряжений на режущей кромке при обработке резанием таким методом выполнено в работах [10] и [11].

Принимая во внимание схему нагрузки (рис. 1 и рис. 2), позволяющую брать только члены, содержащие  $r^{2n}$  при  $n = 0$  и  $n = 1$ , находим следующие выражения для составляющих напряжения по восходящим степеням аргумента  $r$ :

$$\begin{cases} \sigma_r = 2(b_0 + d_0\theta - a_2 \cos 2\theta - C_2 \sin 2\theta) + 2r(b_1 \cos \theta + d_1 \sin \theta - 3a_3 \cos 3\theta - 3C_3 \sin 3\theta); \\ \sigma_\theta = 2(b_0 + d_0\theta + a_2 \cos 2\theta + C_2 \sin 2\theta) + 6r(b_1 \cos \theta + d_1 \sin \theta + a_3 \cos 3\theta + C_3 \sin 3\theta); \\ \tau_{r,\theta} = -d_0 + 2a_2 \sin 2\theta - 2C_2 \cos 2\theta + 2r(b_1 \sin \theta - d_1 \cos \theta + 3a_3 \sin 3\theta + 3C_3 \cos 3\theta) \end{cases} \quad (1)$$

Для удобства отыскания коэффициентов граничные условия для двух случаев нагрузки можно записать в таком виде:

$$1) \begin{cases} (\sigma_\theta)_{\theta=\beta} = -N_1 + rN_1'; \\ (\sigma_\theta)_{\theta=0} = -N_2 + rN_2'; \\ (\tau_{r\theta})_{\theta=\beta} = -S_1 - rS_1'; \\ (\tau_{r\theta})_{\theta=0} = -S_2 + rS_2' \end{cases} \quad 2) \begin{cases} (\sigma_\theta)_{\theta=\beta} = -N_1 + rN_1'; \\ (\sigma_\theta)_{\theta=0} = -N_2 + rN_2'; \\ (\tau_{r\theta})_{\theta=\beta} = -S_1 + rS_1'; \\ (\tau_{r\theta})_{\theta=0} = -S_2 + rS_2' \end{cases} \quad (2)$$

$N_1$  – максимальное значение нормального контактного напряжения, действующего на торцевую грань,  $N_1 = 2,6\sigma_{s0}$  ;

$N_2$  – максимальное значение нормального контактного напряжения, действующего на боковую грань,  $N_2 = 0,7\sigma_{s0}$  ;

$S_1$  – максимальное значение касательного напряжения, действующего на торцевую грань,  $S_1 = f_1 \cdot N_1 = 0,2N_1$  ;

$S_2$  – максимальное значение касательного напряжения, действующего на боковую грань,  $S_2 = f_2 \cdot N_2 \approx (0,2...0,25)N_2$  .

$$N_1' = \frac{N_1 - \sigma_s}{b} S_1 = f_1 \cdot N_1' = f_1 \frac{N_1 - \sigma_s}{b} ;$$

$$N_2' = \frac{N_2}{h_M} S_2' = f_2 \cdot N_2' = f_2 \frac{N_2}{h_M} .$$

Приравнивая коэффициенты при одинаковых степенях аргумента  $r$  выражений (1) и (2) и учитывая, что в матрицах и пуансонах обычно угол  $\beta = \frac{\pi}{2}$  , получим уравнения для определения произвольных постоянных для двух случаев нагрузки:

$$1) \begin{cases} 2\left(b_0 + d_0 \cdot \frac{\pi}{2} - a_2\right) = -N_1; \\ 2(b_0 + a_2) = -N_2; \\ 6(d_1 - C_3) = N_1'; \\ 6(b_1 - a_3) = N_2'; \\ -d_0 + 2C_2 = S_1; \\ -d_0 - 2C_2 = -S_2; \\ 2(b_1 - 3a_3) = -S_1'; \\ 2(d_1 - 3C_3) = S_2' \end{cases} \quad 2) \begin{cases} 2\left(b_0 + d_0 \cdot \frac{\pi}{2} - a_2\right) = -N_1; \\ 2(b_0 + a_2) = -N_2; \\ 6(d_1 - C_3) = N_1'; \\ 6(b_1 - a_3) = N_2'; \\ -d_0 + 2C_2 = -S_1; \\ -d_0 - 2C_2 = -S_2; \\ 2(b_1 - 3a_3) = S_1'; \\ 2(d_1 - 3C_3) = S_2' \end{cases} \quad (3)$$

Находим значения коэффициентов:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = \frac{\pi(S_1 - S_2)}{8} - \frac{N_1 + N_2}{4}; \\ d_0 = -\frac{S_1 - S_2}{2}; \\ b_1 = \frac{N_2' - S_1'}{8}; \\ d_1 = \frac{N_1' - S_2'}{8}; \\ a_2 = \frac{N_1 - N_2}{4} - \frac{\pi(S_1 - S_2)}{8}; \\ C_2 = \frac{S_1 + S_2}{4}; \\ a_3 = \frac{N_2' + 3S_1'}{24}; \\ C_3 = -\frac{N_1' + 3S_2'}{24} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} b_0 = -\frac{\pi(S_1 - S_2)}{8} - \frac{N_1 + N_2}{4}; \\ d_0 = \frac{S_1 + S_2}{2}; \\ b_1 = \frac{N_2' + S_1'}{8}; \\ d_1 = \frac{N_1' - S_2'}{8}; \\ a_2 = \frac{N_1 - N_2}{4} + \frac{\pi(S_1 + S_2)}{8}; \\ C_2 = -\frac{S_1 - S_2}{4}; \\ a_3 = \frac{N_2' - 3S_1'}{24}; \\ C_3 = -\frac{N_1' + 3S_2'}{24} \end{array} \right. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) легко найти напряжения, возникающие на режущих кромках рабочего инструмента в процессе отрезки от усилия резания. Эти выражения позволяют вычислить напряжения во всей области режущей части инструмента, ограниченной площадью контакта с отрезаемым материалом.

Необходимо отметить, что режущего инструмента с абсолютно острой режущей кромкой в действительности быть не может, так как радиус округления режущей кромки всегда больше нуля, даже для только что изготовленного инструмента. Поэтому в области, непосредственно примыкающей к режущей кромке, нет нарушения закона парности касательных напряжений, которые возникают при теоретическом рассмотрении точки на самом острейшем режущей кромки при направлении касательных напряжений по торцовой грани к кромке, а по боковой – от кромки.

Поскольку нет единого мнения по вопросам направления касательных напряжений по пояску смятия, проведенные теоретические исследования показали, что течение вырезаемого металла может происходить и в зазор, и от зазора, в зависимости от того, что будет больше: сопротивление раздаче вырезаемой заготовки или сопротивление течению металла в зазор. Для проверки правильности теоретических выводов и было выполнено экспериментальное определение направления течения отрезаемого металла.

Исследование проводилось на алюминиевых образцах толщиной  $h = 4$  мм. На заготовках с размерами 30x30 мм после подготовки поверхностей на мелкозернистой наждачной бумаге специальной иглой наносились лунки (рис. 3, а). Расстояния между лунками замерялись на большом инструментальном микроскопе типа БМИ с точностью 0,005 мм. В подготовленных заготовках пробивались отверстия диаметром 20 мм на экспериментальном штампе, после чего снова измерялись расстояния между теми же лунками (рис. 3, б). По разности замеров судили о направлении течения вырезаемого металла по торцовой контактной поверхности рабочего инструмента.

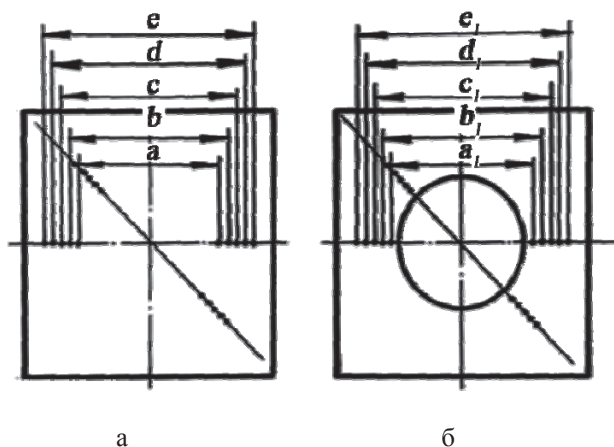


Рисунок 3 – Схема определения направления течения отрезаемого металла по торцевой контактной поверхности инструмента

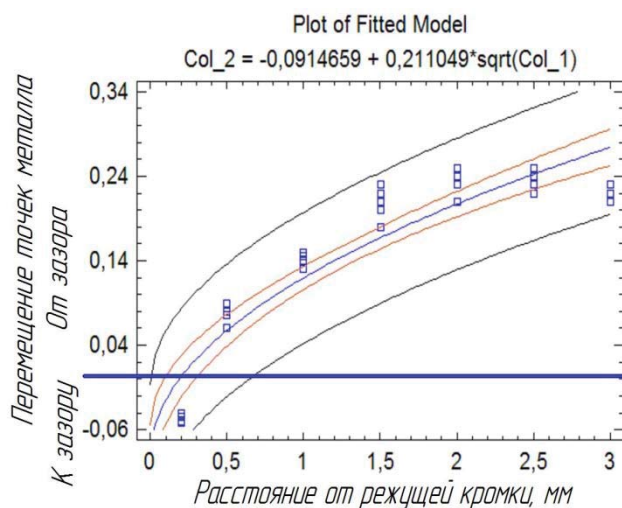


Рисунок 4 – График течения отрезаемого металла по торцевой контактной поверхности матрицы в зависимости от расстояния до режущей кромки (алюминиевые заготовки 30×30 мм толщиной h = 4 мм, ширина перемычки 5 мм, смазка - машинное масло)

выводы о преобладающем направлении течения отрезаемого металла от зазора при резке без прижима при имеющейся в наличии малой зоны течения металла в зазор.

### Список литературы

1. Лобов А.Ф. Напряженно-деформированное состояние при вырубке деталей штампами / А.Ф. Лобов // Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства. – М., 1953. – С. 72-83.
2. Смирнов-Аляев Г.А. Холодная штамповка в приборостроении / Г.А. Смирнов-Аляев, Д.А. Ваинтрауб. – Л.: Машгиз, 1963. – 410 с.
3. Головлев В.Д. Исследование процесса вырубке-пробивки / В.Д. Головлев // Новое в области штамповочной технологии. – М.: Машгиз, 1951. – С. 86–92.
4. Звороно Б.П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки / Б.П. Звороно. – М.: Машгиз, 1949. – 196 с.
5. Сен-Венан Б. Об установлении уравнении внутренних движений, возникающих в твердых пластических телах за пределами упругости / Б. Сен-Венан // Теория пластичности. – М.: ИЛ, 1948. – С. 11–19.

Измерялись также расстояния между лунками и кромкой среза. По данным замеров был построен график изменения перемещения точек вырезаемого металла в зависимости от расстояния до режущей кромки (рис. 4).

Величина перемещения точек отрезаемого металла зависит от многих факторов: механических свойств отрезаемого металла, ширины перемычки при отрезке, смазке и т.д., однако, касаясь только качественной стороны этого вопроса, из рис. 4 видно, что по ширине пояска смятия в основном наблюдается течение отрезаемого металла от вершины режущей кромки (от зазора). Величина перемещения металла от зазора с приближением к вершине рабочей кромки уменьшается и на малом участке возле самой вершины возможно течение в зазор.

Величина течения отрезаемого металла по торцевой контактной поверхности пуансона значительно меньше, чем по поверхности матрицы, однако характер изменения течения по ширине пояска смятия такой же.

**Выводы.** В результате проведенных исследований определены нагрузки, действующие по контактным поверхностям режущего инструмента с отрезаемым материалом без учёта влияния других факторов на напряженное состояние рабочих деталей отрезных штампов.

Выполненные экспериментальные исследования подтвердили теоретические

6. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. 3-е изд., перераб. и доп. / М.Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с.
7. Лисин А.Г. Исследование влияния некоторых факторов на деформацию заготовки по пояску смятия при вырубке и пробивке / А.Г. Лисин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 6. – С. 19-21.
8. Павельский О. Новый прибор для определения коэффициента трения при пластической деформации / О. Павельский // Черные металлы (Stahl und Eisen). – № 20. – 1964. – С. 36–42.
9. Хмара С.М. К определению напряжений на режущих кромках вырезных твердосплавных матриц / С.М. Хмара, В.П. Смолянинов, А.А. Коломойцев, В.И. Рудь // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – № 6. – С.22-24.
10. Archibald F.R. Analysis of the Cutting Ende, Trans of the ASME, august 1956, Vol. 78.
11. Бтанели А.И. К обобщению метода расчета прочности режущей части инструмента / А.И. Бтанели // Вестник машиностроения. – Тбилиси, 1965. – Вып. 2. – С. 14–19.

#### **Vladimir Khorolskyi**

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradysyi National University*

#### **On the Determination of the Stress-Strain State in the Segment Parts in Dies**

The purpose of this research is to determine the stresses arising at the cutting edges of the working tool of cutting forces on the stress state of the working parts of cutting dies.

The paper discusses the issues of determining the normal and tangential forces acting on the cutting edge of the cutting dies, there are derived the equations to determine the arbitrary constant load. Experimental studies determine the direction of flow of the cut metal.

Conclusions. The studies identified the loads acting on the contact surfaces of the cutting tool with cut material without considering the influence of other factors on the state of stress of the working parts of cutting dies. Fulfilled experimental studies confirmed the theoretical conclusions about the predominant direction of flow of the cut metal from the gap when cutting without clamp with the available small area of the metal flow in the gap.

**cutting dies, the cutting edge, stresses, flow the metal**

Одержано 31.10.14

**УДК 621. 9. 048. 4**

**В.М.Шмельов, канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Оптимізація якісних характеристик поверхонь робочих деталей розділових штампів в умовах розмірної обробки електричною дугою**

Виконано оптимізацію якісних характеристик поверхонь робочих деталей розділових штампів в умовах розмірної обробки електричною дугою (РОД). Показано залежність між конструкцією матриці і необхідною шорсткістю її робочої поверхні. Описано залежності якості обробленої поверхні робочих деталей розділових штампів від технологічних характеристик процесу РОД.

**шорсткість, технологічний струм, статичний тиск потоку робочої рідини, матриця, пуансон, розділовий штамп**

**В.Н.Шмелев, канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет*

**Оптимизация качественных характеристик поверхностей рабочих деталей разделительных штампов в условиях размерной обработки электрической дугой**