

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЧАСТКОВ СОПРЯЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ ПУАНСОНОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ

И. В. Беляев, М. Ю. Якушев, П. В. Верещагин

Бийский технологический институт,  
г. Бийск, Россия

Из практики производства и данных научно-технической литературы [1-3] известно, что прочность тяжело нагруженных пуансонов холодной штамповки сильно зависит от геометрии не только рабочей части, но и от формы переходных поверхностей между деформирующей частью и следующими ступенями инструмента и его крепежным участком. Расчеты на прочность пуансонов обычно включают в себя расчет на сжатие рабочего (деформирующего) участка, расчет на устойчивость, возможен расчет на совместное действие изгиба и сжатия. Ни один из приведенных методов расчета не учитывает изменение напряжений, которое обязательно происходит в области перехода между ступенями пуансона, где резко изменяется его диаметр. Влияние концентрации напряжений закладывается в коэффициенты запаса прочности и рекомендации по геометрической форме и размерам переходных участков между ступенями пуансона.

Актуальность работы определяется тем, что следует разрабатывать надежные и долговечные инструменты, с оптимальной материалоемкостью, опираясь на достоверные значения действующих в нем напряжений, а не руководствоваться только рекомендациями технической литературы по назначению формы инструментов.

Чтобы более точно учитывать вклад переходных участков на увеличение действующих в инструменте напряжений необходимо наличие расчетных зависимостей связывающих геометрические характеристики участков сопряжения с коэффициентом концентрации напряжений в зоне перехода.

Цель работы – исследование влияния геометрической формы и размеров пуансонов цилиндрической формы на концентрацию напряжений на участке сопряжения ступеней.

Задачи работы: из анализа конструкции пуансонов и данных научно-технической литературы установить конструктивные факторы, влияющие на их прочность; работать

план численного эксперимента выявляющего влияние геометрических параметров участка сопряжения на наибольшие напряжения в инструменте под нагрузкой; разработать трехмерную модель для каждой точки экспериментального исследования и произвести расчет действующих напряжений, состояние материала инструмента предполагается упругим; аппроксимировать данные расчетов и провести анализ влияния геометрических особенностей участка сопряжения на концентрацию напряжений в области перехода.

Были рассмотрены конструкции пуансонов для холодного выдавливания. Установлено, что участок сопряжения обычно выполняется с небольшим углом конусности  $\alpha$ , меняющимся в пределах от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ , перепад диаметров между ступенями, от  $d$  до  $D$  редко превышает 10%, а радиус сопряжения поверхностей  $R$ , меняется в пределах от 30% до 40% от диаметра рабочей части,  $d$ . Такое соотношение размеров обеспечивает относительно равномерное распределение напряжений в переходной части инструмента. Схема пуансона и обозначения приведены на рисунке 1.

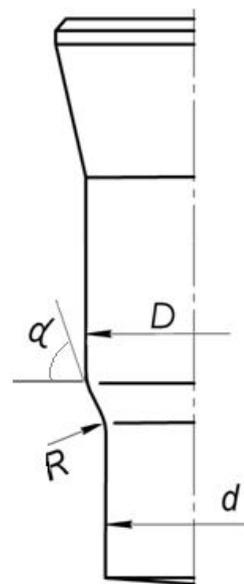


Рисунок 1 – Ступенчатый пуансон.

Для несколько расширенных диапазонов изменения геометрических параметров был составлен план численного эксперимента по типу 3<sup>3</sup>. В качестве функции был принят коэффициент концентрации напряжений, определяемый как отношение наибольшей интенсивности напряжений к контактному давлению, равномерно распределенному по торцевой поверхности рабочей части пуансона:

$$n = \frac{\sigma_i^{max}}{p}$$

В качестве независимых параметров использованы: абсолютное значение угла конусности переходной части,  $\alpha$ ; отношение радиуса сопряжения ступеней к диаметру деформирующей части,  $(R/r)$ ; отношения диаметров ступеней,  $(d/D)$ .

Диапазон изменения независимых факторов:  $\alpha=5^\circ \dots 30^\circ \dots 60^\circ$ ;  $(R/r)=0,1 \dots 0,6 \dots 0,9$ ;  $(D/d)=1,1 \dots 1,3 \dots 1,5$ . Для каждого из 27 сочетаний размерных характеристик была создана трехмерная модель в системе проектирования SolidWorks, материал пуансона принимался идеально упругим, при выполнении прочностного расчета нагрузки подбирались, таким образом, чтобы они превышали предела упругого сопротивления пуансона. По результатам расчетов находилась наибольшая интенсивность напряжений, которая затем делилась на давление, приложенное к торцу пуансона – это отношение искомый коэффициент концентрации напряжений.

Результаты расчетов были аппроксимированы степенной и полиномиальной функциями, обе функции показали хорошую точность аппроксимации, максимальная погрешность не превысила 10%, средняя около 2%. Функции, аппроксимирующие характер изменения коэффициента концентрации напряжений от геометрии переходной части ступенчатого пуансона, представлены ниже:

$$n = 0,574 - 0,0042 \cdot \alpha - 0,454 \cdot \frac{R}{d} + 1,67 \cdot \frac{D}{d}$$

$$n = 1,534 \cdot \alpha^{-0,073} \cdot \left(\frac{R}{d}\right)^{-0,143} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{0,93}$$

Приведенные расчетные зависимости могут использоваться для уточнения действующих напряжений в ступенчатых пуансонах. Действующее в пределах рабочей части напряжение следует умножить на коэффициент концентрации напряжений.

Расчетами по аппроксимирующим функ-

циям установлены графические закономерности изменения коэффициента концентрации напряжений, они показаны на рисунках 2-4.

Анализ приведенных на рисунках зависимостей показывает, что на большей части исследованного диапазона изменения независимых параметров изменение функции концентрации напряжений близко к линейной зависимости, для любого исследованного фактора.

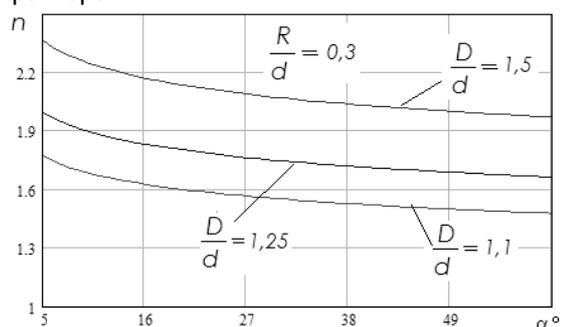


Рисунок 2 – Изменение коэффициента концентрации напряжений от угла конусности переходного участка

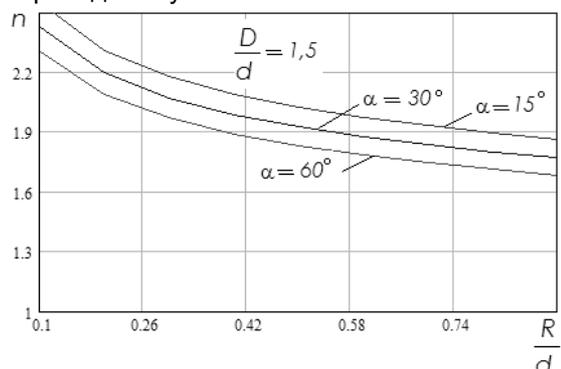


Рисунок 3 – Изменение коэффициента концентрации напряжений от радиуса сопряжения переходного участка

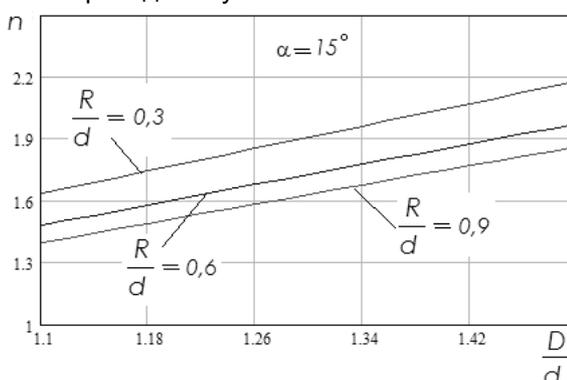


Рисунок 4 – Изменение коэффициента концентрации напряжений от отношения диаметров ступеней

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЧАСТКОВ СОПРЯЖЕНИЯ СТУПЕНЕЙ ПУАНСОНОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ

Нелинейность проявляется при малых углах наклона образующей поверхности от горизонтали, малых радиусах сопряжения поверхностей, рисунок 2 и 3. Поэтому выявить наличие оптимальных областей изменения геометрических параметров сопряжения не удастся. При проектировании можно считать, что изменение коэффициента концентрации напряжений зависит линейно от каждого фактора, само же значение коэффициента концентрации следует рассчитывать по приведенным аппроксимирующим функциям.

### Список литературы:

1. Васильев Д.И. Основы проектирования деформирующего инструмента. - М.: Высшая школа, 1984 – 223 с.
2. Ковка и штамповка.:Справочник.Т.3 Листовая штамповка /Под ред. А.Д.Матвеева - М.: Машиностроение, 1987 – 384 с.
3. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов холодной штамповки. - М.: Машиностроение, 1972 – 360 с.