

УДК 621.979

С.В. Кузнецов

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Посвящена разработке способов теоретического определения поперечных (горизонтальных) сил, возникающих при выполнении технологических операций обработки металлов давлением в зависимости от условий их проведения.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, уравнение, расчет, силовой анализ, поперечные силы.

Вопросы, связанные с определением силовых воздействий при выполнении операций ОМД исследовались рядом авторов ([1] и др.), в результате чего было установлено:

- а) отсутствие единой методики определения и учета поперечных сил;
- б) возникновение поперечной силы связано с наличием двух основных факторов, обусловлено перекосом ползуна прессы вследствие эксцентрично приложенной нагрузки и с особенностями выполнения конкретной технологической операции;
- в) создание конструкций элементов кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки производится в основном без учета воздействия и количественной оценки поперечных сил вследствие отсутствия соответствующих методик их определения, хотя эти силы могут существенно влиять на работу узлов оборудования, точность и качество получаемых изделий в целом.

Очевидно, что отсутствие способов определения поперечных сил не дает возможность получить достоверную картину силовых взаимодействий в зоне выполнения технологической операции и вне её.

Таким образом, целью работы является создание методики определения величины и направления поперечных сил в зависимости от условий проведения технологической операции для операций объемной и листовой штамповки.

С целью определения сил произвольно выделялся элементарный участок dF_K на поверхности AB контакта (рис. 1) [1]. Считалось, что на такой поверхности присутствуют распределенные нормальные σ_H и касательные τ_K напряжения.

Для произвольно выделенного участка можно записать:

$$dP_B = \sigma_H \cdot dF_K \cdot \cos \alpha + \tau_K \cdot dF_K \cdot \sin \alpha = \sigma_H \cdot dF_B + \tau_K \cdot dF_\Gamma$$

$$dP_\Gamma = \sigma_H \cdot dF_K \cdot \sin \alpha + \tau_K \cdot dF_K \cdot \cos \alpha = \sigma_H \cdot dF_\Gamma + \tau_K \cdot dF_B,$$

где dF_Γ и dF_B – площади проекций элементарного участка заготовки на плоскости, перпендикулярную и совпадающую с направлением движения инструмента, dP_Γ и dP_B – проекции элементарных усилий, действующих по выделенной поверхности контакта, на плоскости, перпендикулярную и совпадающую с направлением движения инструмента, α – угол между направлением нормального напряжения σ_H и направлением движения инструмента.

Решение задачи, связанной с определением поперечных сил, а также различного по времени вхождения в контакт с гравюрой штампа деформируемого материала, условий про-

грева образца перед выполнением операции, формы заготовки и заусенца потребовало выявления нормального напряжения σ_x , действующего со стороны препятствия.

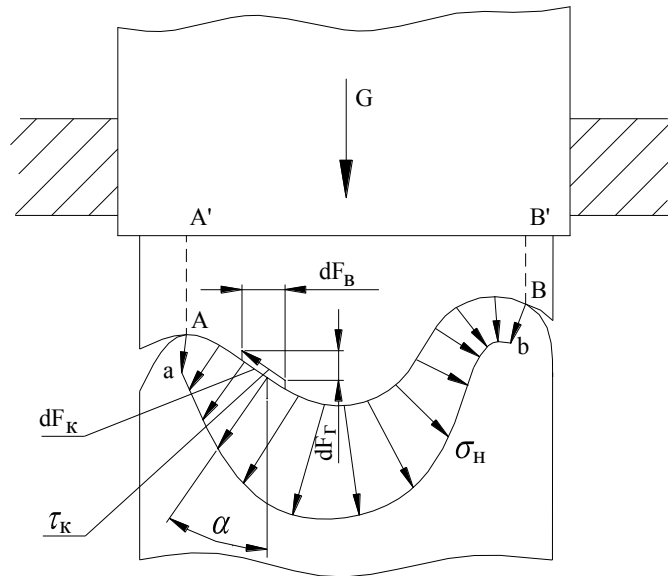


Рис. 1. Схема определения нормальных и касательных напряжений для нахождения деформирующих сил для рассматриваемой контактной поверхности

Препятствие в момент начала контакта приводит к смене схемы деформируемого состояния (рис. 2): объемное деформированное состояние на поверхности переходит в плоское.

Для такого состояния справедливы выражения: $\sigma_y = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}$ и $\tau_{xy} = \tau_{zy} = 0$.

Предполагалось, что процессы, протекающие на торцах заготовки и в зоне контакта с препятствием, носят схожий характер, поэтому определение τ_{xz} проводилось по методике [1], применяемой в расчетах на торцах заготовки. На основании этого полагалось, что при касательном напряжении τ_k на контактной поверхности $\tau_k \leq 0,7 \cdot k$ напряжения определяются соотношением $\sigma_x - \sigma_z = \pm \sigma_s$ и точное значение σ_x определено быть не может. При $0,7 \cdot k < \tau_k \leq k$: $\sigma_x = \sigma_z = -\frac{\sigma_s}{3}$.

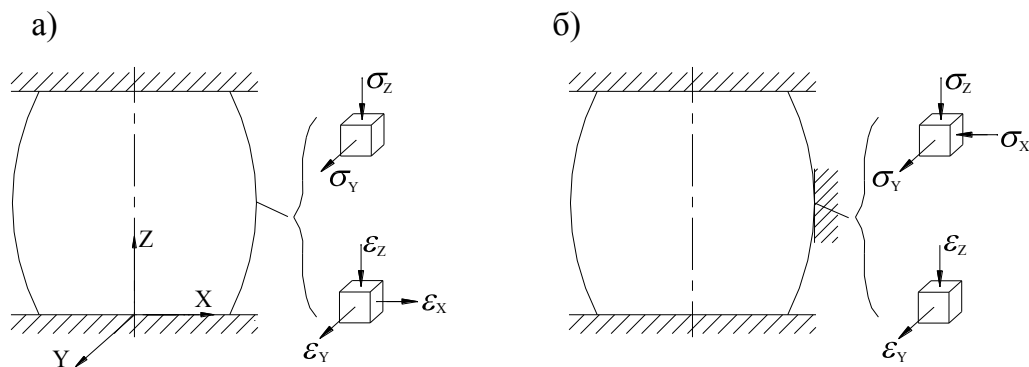


Рис. 2. Схемы напряженно-деформированного состояния образца:
 а – при его осадке; б – при касании образцом препятствия (гравюры штампа).

Определение напряжений проводилось на основании соответствия напряженного и деформированного состояний заготовки [1]. Это позволило найти напряжение σ_x без нахождения касательных напряжений на поверхности заготовки. При этом вводились следующие допущения:

а) относительные сдвиги γ отсутствуют и направления удлинений совпадают с главными осями деформаций;

б) направления напряжений совпадают с главными осями нормальных напряжений.

В результате было получено, что искомое напряжение находится в диапазоне $-\sigma_s/3 \leq \sigma_x \leq 0$. Для рассмотренной схемы в предельном случае $\sigma_x = \sigma_z = -\sigma_s/3$. Таким образом, максимально возможное значение напряжения в зоне контакта заготовки с препятствием $\sigma_x = \left| \frac{\sigma_s}{3} \right|$.

В результате, нами была предложена последовательность расчета поперечных сил для заготовки произвольной пространственной формы:

1. Криволинейная контактирующая поверхность штампа и заготовки в рассматриваемый момент времени разделялась на совокупность элементарных поверхностей (плоскость, цилиндр, сфера и т.д.), причем шаг разбиения зависел только от сложности рассматриваемой формы.

2. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение ее положения относительно базовой плоскости.

3. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение площадки контакта.

4. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение нормальных напряжений.

5. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение касательных напряжений.

6. Определялось значение элементарной поперечной силы для каждой выделенной поверхности.

7. Определялось результирующее значение поперечной силы путем векторного сложения соответствующих элементарных сил, действующих во всех выделенных участках заготовки.

Рассмотрим способ определения данных сил для операций листовой штамповки. С этой целью (рис. 3) составляли основные уравнения равновесия выделенного элемента:

а) при проецировании на нормаль к поверхности

$$\sigma_H \cdot f_3 - 2\sigma_p \cdot f_1 \frac{d\alpha}{2} - 2\sigma_\theta \cdot f_2 \frac{d\beta}{2} = 0; \quad (1)$$

б) при проецировании на касательную к поверхности заготовки в меридиональном сечении

$$\sigma_p \cdot f_1 + d(\sigma_p \cdot f_1) - \sigma_p \cdot f_1 - 2\sigma_\theta \cdot f_2 \cdot \frac{d\theta}{2} - \mu \cdot \sigma_H \cdot f_3 = 0. \quad (2)$$

На основе уравнений (1) - (2) рассматривались различные варианты определения поперечных сил. В качестве наиболее приемлемого с точки зрения дальнейшего использования принимаем:

$$dF_{Ti} = s \cdot d\gamma \cdot d\rho \cdot \left[(\sigma_p - \sigma_\theta) + d\sigma_p \cdot \frac{\rho}{d\rho} \right] \quad (3)$$

где dF_{Ti} – поверхностная сила трения, действующая в выделенном i -м элементарном участке; β – переменный коэффициент, являющийся функцией главных нормальных напряжений; s – толщина заготовки; $d\gamma$ – угол; ρ – параметр, определяющий положение выделенного элемента заготовки относительно оси симметрии.

Величина поперечной силы, действующей в выделенном сегменте, в конечном счете, определялась по зависимости:

$$F_{Ti} = \int_{r_1}^{r_2} \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} (\pm\beta \cdot \sigma_s \cdot d\rho + d\sigma_\rho \cdot \rho) \cdot s \cdot d\gamma, \quad (4)$$

$$F_{Ti} = (\sigma_\rho \pm \beta \cdot \sigma_s \cdot \ln \rho) \cdot s \cdot \rho \cdot \gamma + C, \quad (5)$$

где r_1 и r_2 – соответственно, внутренний и наружный радиусы рассматриваемого сегмента относительно оси симметрии заготовки; γ_1, γ_2 – начальное и конечное значения угла, в пределах которого рассматривается выделенный сегмент; C – постоянная интегрирования.

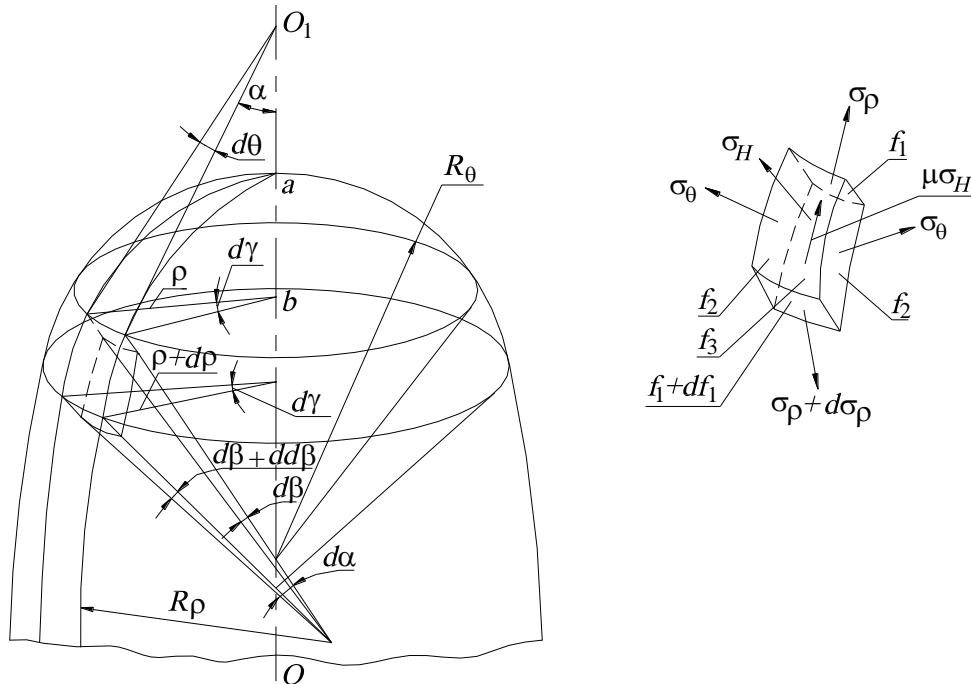


Рис. 3. Схема для определения элементарной силы трения на поверхности исходной заготовки

Общее уравнение для определения поперечных сил в приближенном виде, полученное с использованием неравенства $\sigma_\rho = \sigma_s - |\sigma_\theta| < \sigma_s$, представленное в работе [1], может рассматриваться как случай с предельными по величине поперечными силами. Оно имеет вид:

$$F_{Ti} = (\sigma_s \pm \beta \cdot \sigma_s \cdot \ln \rho) \cdot s \cdot \rho \cdot \gamma + C. \quad (6)$$

В результате могут быть получены общие уравнения определения исследуемых сил для операций листовой штамповки на основе точного (5) вида, установлены способы нахождения входящих в формулу величин из условия связи напряжений и деформаций рассматриваемого элемента в зависимости от конструктивных особенностей и геометрии применяемого инструмента.

Таким образом, расчет поперечных сил для операций листовой штамповки может иметь следующую последовательность.

1. Определялась ось симметрии заготовки.
2. Поверхность заготовки разбивалась на участки (сегменты), ограниченные радиусами r_1 и r_2 и углом в диапазоне от γ_1 до γ_2 .
3. Для каждого из выделенных сегментов экспериментально определялись значения величин s, ρ, γ ; на основе справочных данных σ_s .
4. Находились величины деформаций $\varepsilon_\rho, \varepsilon_\theta, \varepsilon_Z$ для каждого рассматриваемого участка заготовки. Применялось два способа определения данных величин: экспериментальный (при помощи метода координатных сеток) и расчетный способ (на основе МКЭ с использованием САЕ-системы ANSYS).

5. Полученные значения деформаций подставлялись в уравнение

$$\sigma_{\theta} = \sigma_S \cdot \frac{-(\varepsilon_{\rho} + 2 \cdot \varepsilon_Z)}{\varepsilon_Z + 2 \cdot \varepsilon_{\rho}}.$$

6. Полученное значение напряжения подставлялось в уравнение пластичности $\sigma_{\rho} - \sigma_{\theta} = \pm\beta \cdot \sigma_S$, откуда находилось σ_{ρ} .

7. На основе уравнения (5) в зависимости от рассматриваемой технологической операции, условий ее проведения и граничных условий, определялась постоянная интегрирования C .

8. На основе полученного уравнения устанавливалась величина поперечной силы в пределах выделенного сектора.

9. Аналогично определялись поперечные силы во всех выделенных секторах заготовки.

10. Находилось результирующее значение поперечной силы путем векторного сложения сил, действующих в каждом выделенном сегменте, по всей поверхности заготовки.

Выводы

1. Подтвержден факт возникновения поперечных сил при выполнении технологических операций обработки металлов давлением.

2. Предложен способ теоретического определения поперечных сил.

3. Подтвержден факт влияния поперечных сил на штамповую оснастку, следовательно, и пресовое оборудование. Вследствие этого поперечные силы должны учитываться при проектировании и эксплуатации оборудования и штамповой оснастки.

4. Предложенный новый способ определения исследуемых сил может быть использован на стадии проектирования оборудования и оснастки в качестве уточняющего к существующим.

Библиографический список

1. **Сторожев, М.В.** Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977.
2. **Кузнецов, С.В.** Теоретическое определение поперечных сил, возникающих при выполнении операций обработки металлов давлением / Вестник Ижевского государственного технического университета им. М. Т. Калашникова. 2013. №4. С. 31–34.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

S.V. Kuznetsov

TECHNIQUE OF THEORETICAL DEFINITION OF CROSS-SECTION FORCES DEPENDING ON CONDITIONS OF THEIR HOLDING FOR METAL FORMING OPERATIONS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The work purpose is creation of a technique of definition of size and a direction of cross-section forces depending on conditions of carrying out of technological operation for operations of volume and sheet punching.

Design/ methodology/ approach: Definition of cross-section forces was fabricated by determination of stresses in a zone of contact of the instrument and preform.

Findings: The common equations of definition of examined forces for sheet-metal forming processes have been as a result received, modes of a finding of settlement magnitudes going into formulas proceeding from a condition of link of stresses and strains of a considered element depending on design features and geometry of the applied instrument are fixed.

Research limitation/ implications: The offered new mode of definition of cross-section forces can be used at a design stage of the equipment and fitting-out as specifying to the existing.

Originality/ value: The original technique of theoretical definition of cross-section forces has been developed for metal forming operations.

Key words: processing of metals by pressure, the equation, calculation, the power analysis, cross-section forces.