

УДК 621.979

**С. В. Кузнецов**, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

*Статья 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.

**П**овышение точности заготовок, получаемых методами обработки металлов давлением, снижение трудоемкости, повышение надежности кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки и, как следствие, снижение себестоимости изготовления детали – одни из основных задач технологии машиностроения.

При выполнении операций обработки металлов давлением на любом из существующих видов оборудования кроме сил, действующих вдоль оси деформирования, отмечено возникновение поперечных сил, действующих в плоскости разъема штампа и перпендикулярных оси деформирования.

Вопросы, связанные с определением силовых воздействий при выполнении операций ОМД, исследовались рядом авторов (см., например: Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977). В результате этих исследований было установлено:

1) отсутствие единой методики определения и учета поперечных сил;

2) возникновение поперечной силы связано с наличием двух основных факторов, связанных, с одной стороны, с перекосом ползуна прессы вследствие эксцентрично приложенной нагрузки, с другой – с особенностями выполнения конкретной технологической операции;

3) 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.

Можно предположить, что появление поперечных сил в основном отрицательно сказывается на прессовом оборудовании, штамповой оснастке и качестве выпускаемой продукции: наблюдается смещение верхней части штампа относительно нижней, что приводит к ухудшению точности изготовления получаемых изделий, увеличению вероятности поломки элементов прессы и штампа (в первую очередь матриц и пуансонов), присутствует повышенный износ элементов привода и направляющих ползуна, возникают ударные нагрузки, шум, вибрации.

Очевидно, что отсутствие способов определения поперечных сил не дает возможность получить достоверную картину силовых взаимодействий в зоне выполнения технологической операции и вне ее, соответственно, теряется возможность сделать математически обоснованные расчеты, выводы и прогнозы поведения инструмента и оборудования под действием данных сил.

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). Считалось, что на такой поверхности присутствуют распределенные нормальные  $\sigma_n$  и касательные  $\tau_k$  напряжения.

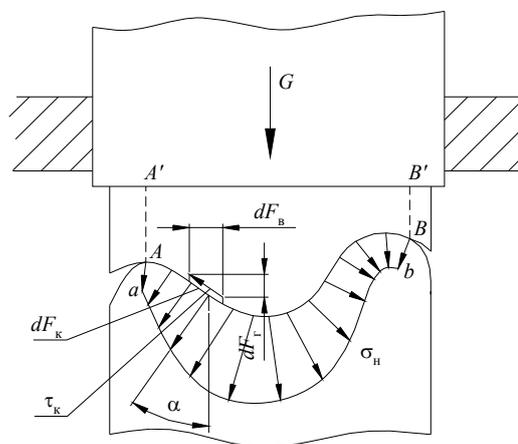


Рис. 1. Схема определения нормальных и касательных напряжений для нахождения деформирующих сил для рассматриваемой контактной поверхности (Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977)

Для произвольно выделенного участка можно записать:

$$dP_B = \sigma_n \cdot dF_k \cdot \cos \alpha + \tau_k \cdot dF_k \cdot \sin \alpha = \sigma_n \cdot dF_B + \tau_k \cdot dF_T;$$

$$dP_T = \sigma_n \cdot dF_k \cdot \sin \alpha + \tau_k \cdot dF_k \cdot \cos \alpha = \sigma_n \cdot dF_T + \tau_k \cdot dF_B,$$

где  $dF_r$  и  $dF_b$  – площади проекций элементарного участка заготовки на плоскости, перпендикулярной и совпадающей с направлением движения инструмента;  $dP_r$  и  $dP_b$  – проекции элементарных усилий, действующих по выделенной поверхности контакта, на плоскости, перпендикулярной и совпадающей с направлением движения инструмента;  $\alpha$  – угол между направлением нормального напряжения  $\sigma_n$  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 прогрева образца перед выполнением операции, формы заготовки и заусенца, потребовало выявления нормального напряжения  $\sigma_x$ , действующего со стороны препятствия. Препятствие в момент начала контакта приводит к смене схемы деформируемого состояния (рис. 2), а именно: объемное деформированное состояние на поверхности переходит в плоское.

Для такого состояния справедливы выражения:

$$\sigma_y = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \text{ и } \tau_{xy} = \tau_{zy} = 0.$$

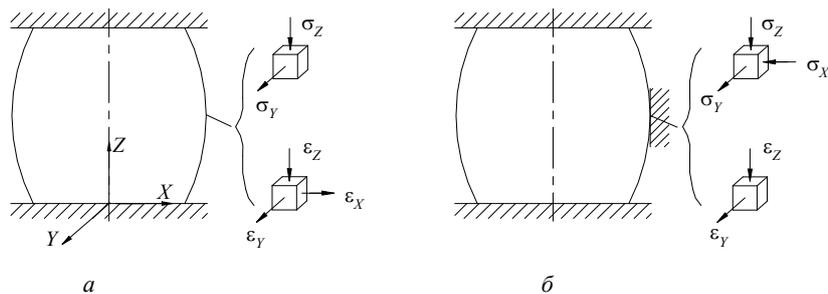


Рис. 2. Схемы напряженно-деформированного состояния образца: а – при его осадке; б – при касании образцом препятствия (гравюры штампа)

Предполагалось, что процессы, протекающие на торцах заготовки и в зоне контакта с препятствием, носят схожий характер, поэтому определение  $\tau_{xz}$  проводилось по методике Сторожева М. В. и Попова Е. А., применяемой в расчетах на торцах заготовки. На основании этого полагалось, что при касательном напряжении  $\tau_k$  на контактной поверхности  $\tau_k \leq 0,7k$  напряжения определяются соотношением  $\sigma_x - \sigma_z = \pm \sigma_s$ , и точное значение  $\sigma_x$  определено

быть не может. При  $0,7k < \tau_k \leq k$   $\sigma_x = \sigma_z = -\left|\frac{\sigma_s}{3}\right|$ .

Определение напряжений проводилось на основании соответствия напряженного и деформированного состояний заготовки из книги Сторожева М. В. и Попова Е. А. «Теория обработки металлов давлением». Это позволило найти напряжение  $\sigma_x$  без нахождения касательных напряжений на поверхности заготовки. При этом вводились следующие допущения: а) относительные сдвиги  $\gamma$  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  $-\left|\frac{\sigma_s}{3}\right| \leq \sigma_x \leq 0$ . Для рассмотренной схемы в предельном случае  $\sigma_x = \sigma_z = -\frac{\sigma_s}{3}$ . 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 следующая 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 (см. рис. 3) были составлены основные уравнения равновесия выделенного элемента:

а) при проецировании на нормаль к поверхности

$$\sigma_n \cdot f_3 - 2\sigma_p \cdot f_1 \frac{d\alpha}{2} - 2\sigma_0 \cdot f_2 \frac{d\beta}{2} = 0; \quad (1)$$



6. Полученное значение напряжения подставить в уравнение пластичности  $\sigma_p - \sigma_0 = \pm \beta \cdot \sigma_s$ , откуда найти  $\sigma_p$ .

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

8. На основе полученного уравнения установить величину поперечной силы в пределах выделенного сектора.

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

10. Найти 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 прессовое 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.

*S. V. Kuznetsov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

### Theoretical Definition of Cross-Section Forces Arising at Performance of Metal Pressure Processing

*The paper is devoted to working out of ways of theoretical definition of the cross-section (horizontal) forces arising at performance of technological operations of processing the metals by pressure depending on conditions of their carrying out.*

**Key words:** metal pressure processing, equation, calculation, force analysis, cross-section forces.

УДК 621.001.2+629.3.018

**Pavol Božek**, PhD., Assoc. Prof., Slovak University of Technology, Trnava

**A. I. Korshunov**, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

## MECHATRONIC SYSTEM CONTROL PROPOSAL USING MATHEMATICAL EXPRESSION OF RELIABILITY VERIFICATION METHOD

*Submission is concerned to complete information system about quality, operation, automatic testing and new evaluating method of vehicle subsystem. Presentation of statistic significant group of tracing commercial cars is used. Data about operational parameters were taken from this group. Numeric analysis is realised on the base of automatic collection and systematic recording of commercial car operation. Proposed new information system about operation and trial process allows verification according to proposed method. Critical components verified in laboratory conditions are detected by numeric analysis of reliability. Trial method is described and also numerically compared in three levels. Quality level increasing not only for final product, but also related automatic test laboratory for cars is the result of these principles respecting.*

**Key words:** measuring information, trial automation, new methodology.

**T**endency to ensure car's high technical and operational parameters, and consequently successful realisation of any difficult technical system and mechanism comes out from perfect knowledge of operational conditions, knowledge of operation - technical characteristics and parameters of own system. This fact conditions to increase requests for technical level of measurement, actual time of measure results, precision of measurement results, possibility of measurement results processing, level of measurement automation i.e. measurement as method of objective quantification of physical values, or about relation between two or higher number of physical values. Analysis of achieved results from solving and car security area in whole scale of connectivity and relations confirms, that the role of laboratory verification is not replaceable in new quality man-

agement system. Complete access problematic to the test questions in new quality management system, continually to car production concept is getting necessary and logic part of car production process and, as analysis of development trends in car industry shows, effect of solution in testing automation has objective need [8].

It is necessary to concern about automation data gathering about component operation mode in real conditions. It is possible to define their reliability based on gathered data about operating and component failure accepting. It is possible to design device for test tracing of components and test method after defining critical elements.

This way to gather data about component operation, as a difficult system is in accordance with science and developing principles; by this we prevent un-controlled