

УДК 621.98

Е.Ю. Балалаева, асп.

Приазовский государственный технический университет (ПГТУ)

РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВЫХ УПРУГИХ КОМПЕНСАТОРОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИСТЕМЫ «ПРЕСС-ШТАМП» ДЛЯ ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ-ФОРМОВКИ

Розглянута робота кільцевих пружних компенсаторів похибок системи «прес-штамп». Розроблена методика розрахунку компенсаторів, яка включає розрахунок зусилля стискання при технологічних операціях, розрахунок коефіцієнта форми та визначення параметрів компенсатора, розрахунок його формозміни при стиканні та визначення ділянок склеювання з захисними пластинами.

The work of the ring elastic compensators of errors of the press-die system is considered. The method of the calculation of the compensators, which includes the of the pressing force during technological operations, the calculation of the form coefficient and determination of the parameters of compensator, the calculation of the forming during the pressing and the determination of agglutination zones with protective plates, is developed

Технологические операции, выполняемые на физически устаревших кривошипных прессах, сопровождаются перекосами ползуна, что снижает стойкость инструмента и усугубляет условия его эксплуатации [1], при этом снижается качество отштампованных изделий и точность поверхности реза на разделительных операциях.

Перекосы в системе «пресс-штамп» уменьшают путем внедрения дополнительных конструктивных компенсирующих элементов, которые располагают между опорными поверхностями ползуна и верхней плиты штампа. Широкое распространение получили упругие компенсаторы, рассчитанные как на определённые технологические усилия [2, 3], так и универсальные [4]. Основой таких компенсаторов чаще всего служат полиуретановые элементы, характеризующиеся сохранением стабильных характеристик жесткости на протяжении нескольких миллионов циклов нагружения.

Известен способ крепления верхней плиты к ползуну пресса через упругий компенсатор [5].

Однако существует угроза растрескивания упругой пластины, т. к. под воздействием усилия деформирования, полиуретан может затекать в нетехнологические отверстия, образуя области повышенной концентрации напряжений. Для решения данной проблемы разработан вариант крепления верхней плиты к ползуну пресса [6], согласно которому кольцевой упругий компенсатор размещают между двумя шлифованными металлическими пластинами при помощи клеевого соединения.

Недостатком данного способа является отсутствие оптимальных режимов склеивания, которые необходимо определять исходя из конструктивно-технологических особенностей работы кольцевого компенсатора и свойств клея.

Данная проблема решена путем разработки способа крепления верхней плиты к ползуну пресса [7], согласно которому участки склеивания определяются индивидуально для каждого компенсатора и клеевого соединения. В частности, методика расчета упругих кольцевых компенсаторов для операций листовой штамповки требует отдельного изучения.

Целью данной работы является разработка автоматизированной методики расчета кольцевых упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп» на примере операции вытяжки-формовки.

Предварительно были проведены испытания образцов из полиуретана марки СКУ-ПФЛ-100 различной формы на сжатие. При обработке опытных данных значение давления сжатия q вычисляли как $q = P/F_{\text{опорн}}$, где P – сила деформирования, $F_{\text{опорн}}$ – площадь опорной поверхности компенсатора. Зависимость давления сжатия полиуретана q от степени осадки ε для $\varepsilon \leq 0,2 \div 0,3$: $q = 52\varepsilon + 1,92$.

В результате исследования коэффициента формы Φ , определяемого по формуле: $\Phi = F_{\text{бок}}/F_{\text{опорн}}$, где $F_{\text{бок}}$ – площадь боковой поверхности компенсатора, согласно данным работы [8] на основе разработанной математической модели и программного обеспечения были получены зависимости усилия сжатия от коэффициента формы и степени осадки без смазки (1) и со смазкой (2):

$$P = 0,001436 - 0,164223 \cdot \Phi - 0,289477 \cdot \varepsilon + 25,110390 \cdot \Phi \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

$$P = -0,000434 - 0,000613 \cdot \Phi - 0,086781 \cdot \varepsilon + 0,128789 \cdot \Phi \cdot \varepsilon. \quad (2)$$

Рассматривали кольцевой полиуретановый компенсатор (рис. 1) наружным радиусом R , внутренним радиусом R_n и высотой H_0 . Причем в конструкцию были введены следующие ограничения: внешний радиус должен быть меньше длины и ширины штамповой плиты ($R < A$ и $R < B$ соответственно), внутренний радиус – больше радиуса хвостовика для листоштамповочных прессов ($R_n > d_{\text{хв}}/2$), а высота компенсатора не должна превышать 1/3 штампового пространства ($H_0 \leq H_{\text{пр}}/3$). Опорную площадь компенсатора определяли как

$$F_{\text{i i}} \delta i = \pi \cdot [R^2 - R_n^2].$$

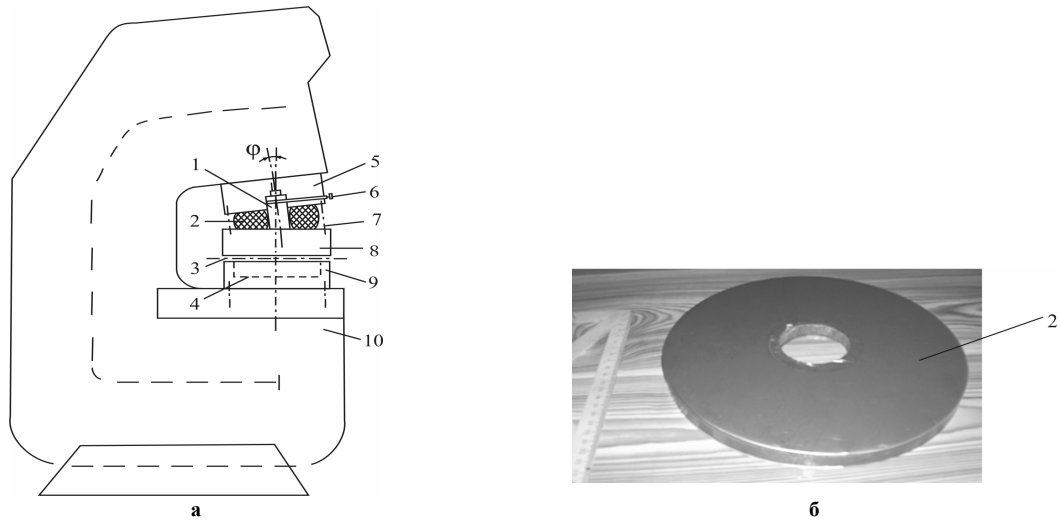


Рис. 1. Схема крепления верхней плиты штампа к ползуну прессы (а) и фотография кольцевого упругого компенсатора с защитными пластинами (б): 1- хвостовик; 2 – компенсатор; 3 – линия разреза штампа; 4 – контур штампуемого изделия; 5 – ползун; 6 – фиксирующая шпилька; 7 – крепежные элементы; 8 – верхняя плита; 9 – нижняя плита; 10 – станина

Перекося ползуна на угол φ обуславливает неравномерность деформации кольцевого компенсатора по высоте. Причем максимальный угол отклонения не должен превышать $\varphi \leq \arctg(H_0/2R)$. Исходя из введенных ограничений, внешний радиус кольцевого упругого компенсатора определяли как $R = 0,9 \cdot C_{AB}/2$, где $C_{AB} = \min(A, B)$, а внутренний – $R_n = 1,1 \cdot d_{xв}/2$.

Деформация полиуретанового кольца, показанная на рис. 2, предполагает наличие нейтральной линии течения материала, т.е. линии раздела между перемещениями полиуретана внутрь и наружу кольца. Границей течения материала является поверхность, определяемая радиусом R_k , в точках которого контактное касательное напряжение τ равно нулю. Увеличение внешнего радиуса ΔR и уменьшение внутреннего радиуса ΔR_n определяют по аналогии течения деформируемой кольцевой металлической заготовки в трех характерных точках (показаны на рис. 2 б индексами 1, 2 и 3 при обозначениях) согласно рекомендациям источника [9]. Однако в рассматриваемом случае учитывается неравномерность деформации, обусловленная перекося ползуна на угол φ при определенном технологическом усилии сжатия P . Величина угла перекося определяется как: $\varphi = \arctg(\Delta_{комп}/2R)$, где $\Delta_{комп} = 2,5 \cdot \Delta_{пресс}$ – максимальный перекося компенсатора, здесь $\Delta_{пресс} = P/C$ – максимальный перекося прессы; C – жесткость прессы открытого типа, $C = 300 \dots 1200$ [10]. Давление сжатия p при осадке компенсатора распределяется по его диаметру неравномерно, поэтому использование формулы источника [9] требует локального подхода с учетом неравномерности деформации по высоте.

Расчет изменения размеров компенсатора производился как без учета бочкообразности по формулам, изложенным в источниках [9,11], так и с учетом неравномерности радиальной деформации по высоте, при этом потребовалось уточнение вывода зависимости для R_k [11]:

$$R_k = 63,25 \sqrt{\left(R^2 R_n^2 (R^2 - R_n^2) \right) / \left(8000 R^2 R_n^2 \ln(R/R_n) + 1599 h^2 (R^2 - R_n^2) \right)}. \quad (3)$$

Касательное напряжение в клеевом слое соединения полиуретанового кольца с металлическими защитными пластинами рассчитывают согласно рекомендациям источника [12]. Для достижения оптимальных характеристик склеивания клей (diagum FL, diagum P, diaflex) целесообразно наносить только на участки, ограниченные зоной действия рабочих касательных напряжений τ , не превышающих предельных величин τ_k . Согласно предложенной методике построен ряд эпюр касательных напряжений в зависимости от геометрических параметров компенсатора и определены зоны, для которых $\tau < \tau_k$. Для их расчета совмещали вычислительный эксперимент с методикой планирования эксперимента. Устанавливали зависимость расстояний a и b (измерение производилось от линии раздела течения R_k до внешнего и внутреннего краев компенсатора соответственно) от трех факторов: отношения толщины стенки компенсатора к его внешнему диаметру S/D (фактор x_1), отношения толщины стенки компенсатора к его начальной высоте S/H_0 (фактор x_2) и степени деформации упругого кольца ε (фактор x_3) [13].

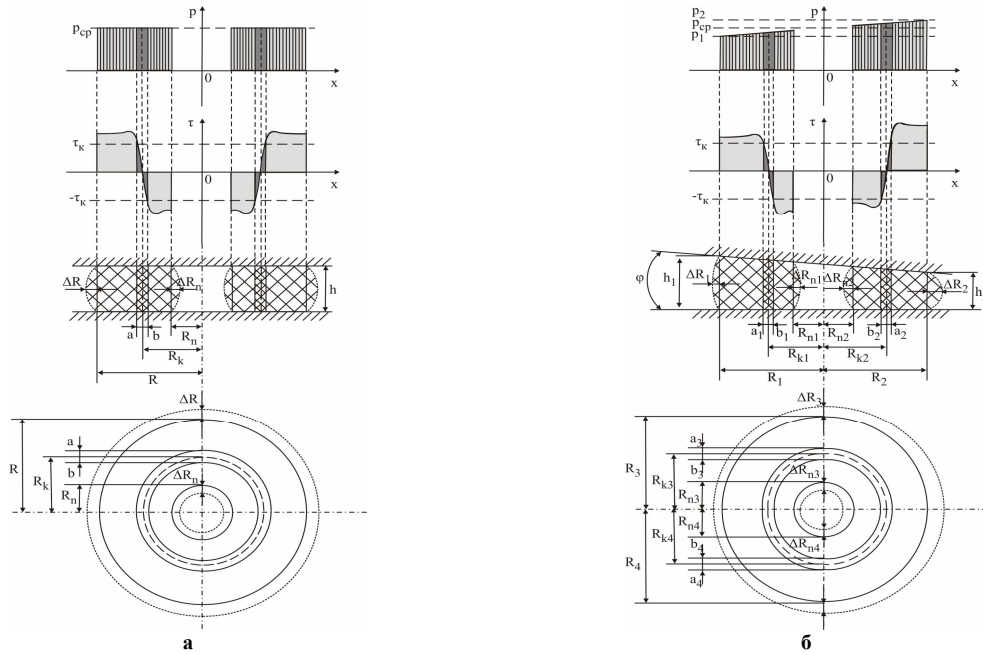


Рис. 2. Деформация кольцевого упругого компенсатора без учета (а) и с учетом (б) неравномерности деформации по высоте

В результате получена зависимость для определения расстояний a и b от линии раздела течения R_k до внешнего и внутреннего краев компенсатора, на которые следует наносить клей для обеспечения условия $\tau < \tau_k$ [7]:

$$a = 10,283 + 0,034S/D + 0,46S/H_0 - 1,109\varepsilon + 0,135S/D \cdot S/H_0 - 0,073S/H_0 \cdot \varepsilon - 0,034S/D \cdot \varepsilon - 0,015S/D \cdot S/H_0 \cdot \varepsilon; b = 0,929a. \quad (4)$$

В работе рассматривали использование кольцевого упругого компенсатора погрешностей системы пресштамп при вытяжке-формовке детали. На рис. 3 приведена обобщенная схема процесса первой операции вытяжки [12].

Начальное усилие для первой операции вытяжки детали цилиндрического типа без фланца рассчитывали по формуле [10]:

$$P_{\theta 0} = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_{\theta} \cdot k, \quad (5)$$

где σ_{θ} – предел прочности материала листовой заготовки; k_1 – коэффициент для первой вытяжки ($k_1 = 0,8$).

На стадии вытяжки текущее усилие определяли как [14]:

$$P_{\theta} = \beta \cdot \sigma_{cp} \cdot (1 + fA) \cdot \left(\ln \frac{R}{r_1} - fA \right) + \frac{fQ}{\pi RS} + \frac{S}{2r_{1M} + S} \cdot \sigma_{\theta}, \quad (6)$$

где $\beta = 1,1$; $\sigma_{cp} = 0,5\sigma_{\theta}$; f – коэффициент трения, зависящий от рода материала и смазки (принимали $f = 0,128$); $A = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi a}{90\sqrt{a^2 - 1}} \arctg \frac{a + 1}{\sqrt{a^2 - 1}}$, здесь $a = 1 + \frac{x_1}{r_{1M} + 0,5S}$, $x_1 = \frac{d_1 - S}{2}$; R – радиус листовой заготовки; $r_1 = d_1/2$ – радиус детали после вытяжки; $Q = \pi \left((D - 2L_x)^2 + (d_1 + 2r_{1M}) \right) \cdot q/4$ – давление прижима, здесь L_x – ход ползуна. При этом конечную высоту заготовки на данном этапе вычисляли $L_{\theta} = (D - d_1)/2 - h_{отв}$, где $h_{отв}$ – высота формуемых углублений.

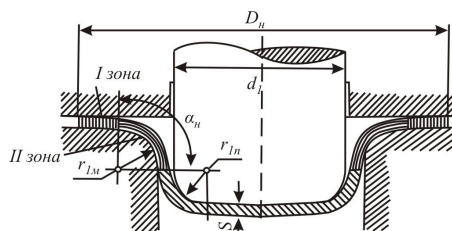


Рис. 3. Обобщенная схема процесса первой операции вытяжки: I зона – плоскость прижима; II зона – зона на закругленной части матрицы; D_n – текущий диаметр листовой заготовки; d_1 – диаметр вытянутой детали; r_{1n} мм и r_{1M} – радиусы закругления пуансона и матрицы; α_M – угол закругления матрицы; S – толщина листовой заготовки

Усилие прессование на этапе вытяжки-формовки определи по формулам [10, 14]:

$$P_{\phi\phi} = P_{\phi} + P_{\phi}, P_{\phi} = n \cdot F_x \cdot k \cdot S^2 \cdot \sigma_{\phi}(\varepsilon), \quad (7)$$

где P_{ϕ} – усилие формовки, n – число формируемых углублений; k – коэффициент трения (принимали $k = 0,8$); ε – степень осадки; F_x – площадь штампуемого рельефа. Изменение площади F_x от $\pi d_{\text{отв.в}}^2/4$ до $\pi d_{\text{отв.к}} \cdot h$ и изменение диаметра углубления d_x от $d_{\text{отв.н}}$ до $d_{\text{отв.к}}$ носят линейный характер.

В результате обработки справочных данных [15] получена зависимость:

$$\sigma_{\phi}(\varepsilon) = -1115,4\varepsilon^2 + 2129,2\varepsilon + 394,35. \quad (8)$$

Величину ε определяли по формуле: $\varepsilon = 1 - 0,5 \left(\rho_n + m'_1 / \sqrt{1 - \rho_n^2 + m'^2_1} \right)$, где $m'_1 = R_{\text{вн}}/d_{\text{отв.в}}$, $\rho_1 = R_n/d_{\text{отв.в}}$,

здесь $R_{\text{вн}} = (d_x - S')/2$ и $R_n = (d_x + S')/2$ – внутренний и наружный радиусы углубления, $S' = S \sqrt{d_{\text{отв.в}}/d_x}$ – толщина стенки углубления.

На основе разработанной математической модели написано программное обеспечение в среде Borland Delphi 7, интерфейс которого показан на рис. 4.

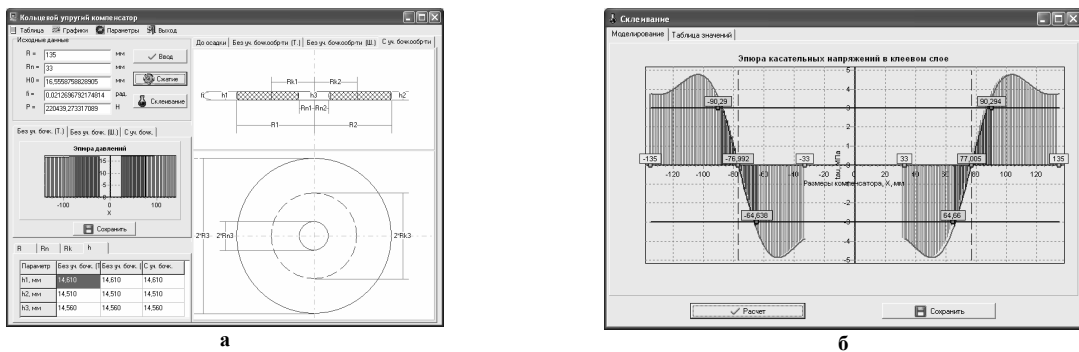


Рис. 4. Интерфейс программы: моделирование работы компенсатора (а) и эпюра напряжений в клеевом слое (б)

В качестве исходных данных задавали размеры штамповой плиты $A = 300$ мм и $B = 300$ мм, диаметр хвостовика $d_{\text{хв}} = 60$ мм. Моделировали операцию формовки-вытяжки детали «Днище нижнее» для огнетушителей типа ОП-6 (рис. 5). Радиусы закругления пуансона и матрицы $r_{1n} = 20$ мм и $r_{1M} = 20$ мм соответственно. Операция формовки предназначена для получения 5 углублений, которые располагаются на расстоянии 60 мм от оси детали. Материал используемых листовых заготовок – Ст.3, толщина $S = 1,4$ мм, исходный диаметр $D = 260$ мм. Размеры детали определяются по чертежу (см. рис. 5).

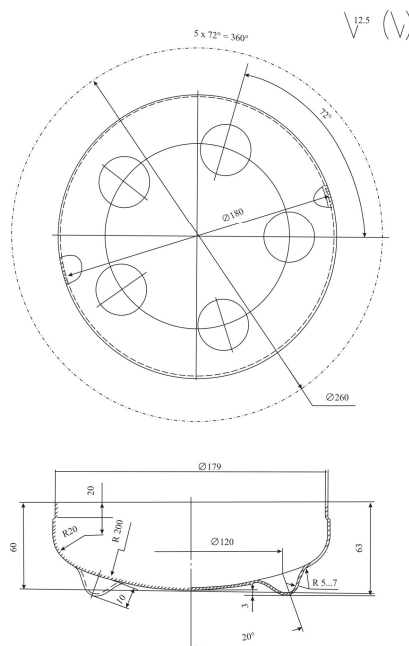


Рис. 5. Чертеж детали «Днище нижнее» для огнетушителей типа ОП-6

На основе полученных данных рассчитаны начальные размеры кольцевого упругого компенсатора (рис. 4 а): внешний и внутренний радиусы $R=135$ мм и $R_n=33$ мм, $H_0 \approx 16,6$ мм, угол перекося ползуна $\varphi \approx 0,02$ рад. Установлено, что целесообразно наносить на участки компенсатора (рис. 4 б), ограниченные расстояниями $a_1=13,298$ мм и $a_2=13,289$ мм до внешнего края и $b_1=12,354$ мм и $b_2=12,345$ мм до внутреннего края от нейтральной линии, причем $R_{k1}=76,992$ мм и $R_{k2}=77,005$ мм, ширина участка склеивания $AB=25,6$ мм.

Вывод.

Упругие компенсаторы являются перспективным малозатратным направлением снижения перекосов в системе «пресс-штамп» прессового оборудования. Разработана математическая модель и программное обеспечение для расчета параметров работы кольцевых упругих компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп», которые позволяют:

- 1) рассчитывать усилия сжатия компенсатора в зависимости от выполняемой технологической операции;
- 2) вычислять коэффициент формы упругого компенсатора и определение его оптимальные геометрические размеры;
- 3) рассчитывать форму сжатого компенсатора с учетом перекосов ползуна при технологических нагрузках;
- 4) определять размеры участков склеивания компенсатора с защитными пластинами.

Список литературы

1. Диамантопуло К.К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования / К.К. Диамантопуло, В.В. Кухарь, А.И. Евтеев // *Металлургические процессы и оборудование*. - Июнь 2005 г. - №2. - С.31-34.
2. Компенсатор похибок напрямку переміщення повзуна преса [Текст]: пат. 11782 Україна, МПК6 В 21 В 23/00 / Диамантопуло К.К., Кухар В.В., Єрмолов Д.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № u200505677; заяв. 13.06.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. - 4с., ил.
3. Компенсатор похибок [Текст]: пат. 837 Україна, МПК6 В 21 В 23/00 / Диамантопуло К.К., Василевський О.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № 200004673; заяв. 06.12.2000; опубл. 14.11.2001, Бюл.№11 - 2с., ил.
4. Універсальний компенсатор похибок напрямку повзуна [Текст]: пат. 38814 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28; В 21 В 23/00 / Кухар В.В., Балалаєва О.Ю., Макєєв В.С.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № u20086973; заяв. 20.05.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл.№2. - 4с., ил.
5. Спосіб кріплення верхньої плити штампа до повзуна преса [Текст]: пат. 37242 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28 / Кухар В.В., Диамантопуло К.К., Лаврентік О.О., Балалаєва О.Ю., Макєєв В.С.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № u200806345; заяв. 13.05.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл.№ 22. - 3с.
6. Диамантопуло К.К. Опыт эксплуатации кольцевого компенсатора погрешностей направления ползуна кривошипного преса / К.К. Диамантопуло, В.В.Кухарь, Е.Ю. Балалаева, А.И. Евтеев // *Теория и практика листового проката*: Сб. научн. тр. Часть 1. - Липецк: ЛГТУ, 2008. - С.176-182.
7. Спосіб кріплення верхньої плити штампа до повзуна преса [Текст]: висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель № 38322 від 07.09.09 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28 / Кухар В.В., Балалаєва О.Ю., Диамантопуло К.К., Тузенко О.О., Процько Д.М.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № u200906825; заяв. 30.06.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл.№ 20. - 4с.
8. Балалаева Е.Ю. Экспериментальное исследование работы упругих двухслойных элементов универсального компенсатора погрешностей системы «пресс-штамп» методом планирования эксперимента / Е.Ю. Балалаева // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*: Сб. науч. тр. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. - 37'2009. - С.42-50.
9. Тарновский И.Я. Теория обработки металлов давлением / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго, В.Л. Колмогоров, В.Н. Трубин, Р.А. Вайсбурд, В.И. Тарновский. - М.: Металлургиздат, 1963. - 672 с.
10. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. - 6-е изд., перераб. и доп. / В.П. Романовский. - М.: Машгиз, 1959. - 400 с.
11. Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования / Л.А. Шофман. - Л: Машиностроение, 1979. - 520 с.
12. Кушнарєнко С.Г. Исследование напряжений в клеевом слое клеёкляпаных соединений / С.Г. Кушнарєнко, В.А. Матвиєнко, А.И. Зирка, Е.И. Поздняков // *Обработка материалов давлением в машиностроении*. - Вып.17. - Харьков: Вища школа, 1979. - С.55-58.
13. Кухар В.В. Мінімізація дотичних напружень у клейовому шарі кільцевого пружного компенсатора з урахуванням нерівномірності деформацій при перекосах повзуна / В.В. Кухар, О.Ю. Балалаєва, В.А. Бурко // *Проблеми трибології: Міжнародний науковий журнал*. - Хмельницький: ХНУ, 2009. - С.41-46.
14. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: Уч. для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. / М.Е. Зубцов. - Л: Машиностроение, 1967. - 504 с.
15. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин. - М.: Металлургия, 1976. - 488с.