



## МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАТИВНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТІВКИ ПОКРІВЕЛЬНОГО КРІПЛЕННЯ ПРИ ВИТИСКУВАННІ ВНУТРІШНЬОЇ РІЗЬБИ

**А. К. Кралін**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

*E-mail: ak.kralin@rambler.ru*

*Отримана 12 листопада 2010; прийнята 26 листопада 2010.*

**Анотація.** Вирішувана в даній роботі проблема відноситься до виробництва кріпильних елементів, вживаних при зведенні мідної крівлі. Виробництво гальванічно сумісних кріпильних елементів дозволяє продовжити термін служби не тільки кріпильних елементів, але і виробу в цілому. Представлені основні методи отримання кріпильних елементів, що мають різбовий профіль і вживаних не тільки в будівельному виробництві, але і в автомобільній промисловості, і при виробництві будівельних машин. Розглянуті достоїнства і недоліки перерахованих методів і дана коротка їх характеристика. Розглядається процес одностороннього витискування заготовки з кольорового металу і показана схема дії різбостворюючого інструменту на заготовку. Виконаний аналіз деформованого стану заготовки покрівельного кріплення при витискуванні різблення, яке здійснюється в умовах осесиметричної деформації. Рішення задачі було виконане в циліндровій системі координат. При проведенні аналізу, заготовка умовно була розділена на кільцеву і різбову зони, в яких були визначені осьова і радіальна швидкості перебігу металу, швидкості деформації матеріалу, інтенсивність швидкостей деформації. Отримані вирази для радіальної і тангенціальної швидкостей деформації. Представлені залежності параметрів деформованого стану заготовки в кільцевій і різбовій зонах. Представлені висновки, що дають передумови для формування основних положень інженерного підходу до розрахунку деформованого стану циліндрової заготовки металу при виробництві кріпильних виробів широко вживаних при зведенні крівлі.

**Ключові слова:** пластичне деформування, мідь, латунь, упрочнення, внутрішнє різблення, одностороннього витискування.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ КРОВЕЛЬНОГО КРЕПЕЖА ПРИ ВЫДАВЛИВАНИИ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ

**А. К. Кралін**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

*E-mail: ak.kralin@rambler.ru*

*Получена 12 ноября 2010; принята 26 ноября 2010.*

**Аннотация.** Решаемая в данной работе проблема относится к производству крепежных элементов, применяемых при возведении медной кровли. Производство гальванически совместимых крепежных элементов позволяет продлить срок службы не только крепежных элементов, но и изделия в целом. Представлены основные методы получения крепежных элементов, имеющих резьбовой профиль и применяемых не только в строительном производстве, но и в автомобильной промышленности и при производстве строительных машин. Рассмотрены достоинства и недостатки перечисленных методов и дана краткая их характеристика. Рассматривается процесс одностороннего выдавливания заготовки

из цветного металла и показана схема воздействия резьбообразующего инструмента на заготовку. Выполнен анализ деформированного состояния заготовки кровельного крепежа при выдавливании резьбы, которая осуществляется в условиях осесимметричной деформации. Решение задачи было выполнено в цилиндрической системе координат. При проведении анализа заготовка условно была разделена на кольцевую и резьбовую зоны, в которых были определены осевая и радиальная скорости течения металла, скорости деформации материала, интенсивность скоростей деформации. Получены выражения для радиальной и тангенциальной скоростей деформации. Представлены зависимости параметров деформированного состояния заготовки в кольцевой и резьбовой зонах. Представлены выводы, дающие предпосылки для формирования основных положений инженерного подхода к расчету деформированного состояния цилиндрической заготовки металла при производстве крепежных изделий, широко применяемых при возведении кровли.

**Ключевые слова:** пластическое деформирование, медь, латунь, упрочнение, внутренняя резьба, одностороннее выдавливание.

## STRAINED STATE SIMULATION OF CYLINDRICAL BILLET OF ROOFING MOUNTING HARDWARE AT INTERNAL THREAD EXTRUSION

Andrey Kralin

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: ak.kralin@rambler.ru*

*Received 12 November 2010; accepted 26 November 2010.*

**Abstract.** The paper deals with the problem of manufacturing of fastening elements used at copper roofing erection. The manufacture of electroplating compatible fastening elements enables to extend the service life of not only fastening elements but the product itself. The basic methods of the manufacturing of fastening elements with thread profile used not only in civil engineering but also in the automotive industry and road-building machines production have been presented in the paper. The advantages and disadvantages of the given methods have been considered and their brief features have been also given. The process of unilateral extrusion of non-ferrous metal billets has been considered and the form process affect of a thread cutting tool on a billet has been shown. The analysis of strained state of a billet of the roofing mounting hardware during extrusion at asymmetric strain has been undergone. The task solution has been performed in the cylindrical coordinate system. During the analysis, the billet has been conventionally divided into the thread and ring regions in which axial and radial metal flow rate, material deformation rate and strain rate intensity have been determined. The equations of the range and tangent rates of deformation have been obtained. The parameters dependences of the state of strain of the billet in the ring and thread regions have been presented. The conclusions enable to determine the basic statements of the engineering approach to the analysis of the state of strain of metal cylindrical billet at manufacturing fastening elements for roofing erection have been presented in the paper.

**Keywords:** plastic strain, copper, brass, hardening, internal thread, unilateral extrusion.

### Формулировка проблемы

Гайки из алюминия, меди, латуни и других цветных сплавов имеют широкое применение при производстве строительных машин, в автомобильной промышленности, при производстве электротехнических изделий и в производстве, где крепежные изделия должны не только проч-

но скреплять материалы, но и обладать высокой устойчивостью к коррозии. Например, если необходимо соединить с помощью винта и гайки медные детали, то следует использовать винт с гайкой из меди, чтобы не возникало гальванической несовместимости, которая может привести к постепенному разрушению крепежа или

изделия. Применение такого крепежа особенно актуально в строительной отрасли при возведении медной кровли при необходимости соединения отдельных элементов крыши.

#### Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время существуют различные способы получения резьбовых поверхностей. Основными методами являются — резание и пластическое деформирование [1].

Методы изготовления резьбы резанием характеризуются высокой трудоёмкостью, приводят к снижению прочности изготавливаемых деталей. Кроме того, изготовление резьбы резанием на тонкостенных деталях из сплавов цветных металлов и высокопластичных сталей практически не осуществимо из-за малой жесткости деталей, или же необходимо применять специальную технологическую оснастку.

Известно, что высокая производительность при формообразовании резьбы достигается методом пластического деформирования [2, 3, 4]. Поэтому изготовление резьбы по возможности нужно производить без снятия стружки.

Разработаны новые способы пластического формообразования внутренних резьб на тонкостенных деталях с одновременным формированием наружного контура — радиальный обжим, редуцирование, обкатывание и т. д. [5, 6, 7]. Преимуществами способов пластического формообразования резьбового профиля, благодаря которым их можно отнести к числу прогрессивных, являются следующие:

- возможность получения деталей, по форме и размерам приближающихся к готовым деталям, что позволит свести к минимуму последующую обработку резанием;
- высокая точность размеров (9–11-й квалитет) и качество резьбовой поверхности (шероховатость) детали в ряде случаев позволяют полностью исключить последующую обработку резанием;
- упрочнение, происходящее в результате пластической деформации, позволяет увеличить ресурс на свинчиваемость и повысить работоспособность резьбового соединения;
- коэффициент использования материала может быть доведен до 98 %;
- высокая производительность труда при малых трудозатратах;

— возможность механизации и автоматизации подачи заготовок и удаление деталей из рабочего пространства прессового оборудования позволяет улучшить условия труда.

Одними из наиболее эффективных технологий формирования резьбы на гайках являются способы бокового выдавливания металла, т. е. способы, основанные на боковом одностороннем и боковом двухстороннем выдавливании [8, 9].

#### Цели

Рассматривается задача моделирования деформированного состояния заготовки при выдавливании внутренней резьбы на заготовках цилиндрической формы, позволяющая получить выражения для определения скоростей течения частиц металла, скоростей деформации и интенсивности скоростей деформации. Возможности выполнить анализ деформированного состояния заготовки при выдавливании резьбы и посвящена данная работа.

#### Основной материал

Рассмотрим процесс одностороннего выдавливания. Заготовка устанавливается на резьбовую оправку и вместе с ней помещается в матрицу. Деформирование заготовки осуществляется с торцевой стороны пуансоном, который перемещается вдоль оси заготовки со скоростью  $v_{\text{п}}$  (рис. 1) и при этом происходит истечение металла в резьбовой профиль.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:  $L$  — длина заготовки,  $S$  — шаг резьбы оправки,  $2\alpha$  — угол профиля резьбы оправки,  $R_{\text{н}}$  — наружный радиус заготовки,  $R_{\text{вн}}$  — внутренний радиус заготовки,  $r_{\text{д}}$  — внутренний радиус детали,  $r_{\text{ро}}$  — внутренний радиус резьбовой оправки,  $r$  — текущая координата вдоль оси  $Ox$ ,  $z$  — текущая координата вдоль оси  $Oz$ ,  $v_{z1}$ ,  $v_{r1}$  — осевая и радиальная скорости течения металла в зоне 1 заготовки соответственно,  $v_{z2}$ ,  $v_{r2}$  — осевая и радиальная скорости течения металла в зоне 2 заготовки соответственно.

Процесс выдавливания резьбы осуществляется в условиях осесимметричной деформации. Решение задачи выполним в цилиндрической системе координат —  $r, z, \theta$ . Компоненты вектора перемещения в этих задачах не зависят от угла  $\theta$ . За начало координат примем точку пересечения

оси OZ, совпадающей с осью заготовки, и оси Oг, проходящей через нижний торец заготовки.

Для анализа деформированного состояния необходимо определить поле скоростей в очаге деформации. Обозначим  $v_r, v_z, v_\theta$  — радиальная, осевая и тангенциальная составляющие скорости течения частиц металла в процессе деформирования соответственно,  $r$  и  $z$  — текущие координаты (см. рис. 1).

Разделим заготовку в процессе деформирования на две зоны — 1 и 2 (см. рис. 1). Зона 1 ограничена поверхностью EFKN, зона 2 — ABCD.

В зоне 1 имеем  $v_{\theta 1} = 0, v_{r1} \neq 0, v_{z1} \neq 0$ . Для определения скорости  $v_{z1}$  исходим из того, что  $v_{z1} = 0$  при  $z = 0$  и  $v_{z1} = -v_n$  при  $z = L$ . Принятое допущение об однородности деформации дает основание считать, что  $v_{z1} = -Az$ . Из граничного условия  $v_{z1}(z=L) = -v_n$  находим  $A = v_n/L$ .

Тогда,

$$v_{z1} = -\frac{v_n z}{L}. \quad (1)$$

Для определения скорости  $v_{r1}$  воспользуемся условием несжимаемости:

$$\frac{\partial v_{r1}}{\partial r} + \frac{v_{r1}}{r} + \frac{\partial v_{z1}}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

После преобразований (2) имеем:

$$\frac{d}{dr}(rv_{r1}) = \frac{v_n}{L} r. \quad (3)$$

Интегрируя, получим:

$$rv_{r1} = \frac{v_n}{2L} r^2 + C. \quad (4)$$

Из граничных условий ( $v_{r1} = 0$  при  $r = R_n$ ) находим, что  $C = -\frac{v_n}{2L} R_n^2$ . Тогда

$$v_{r1} = -\frac{v_n}{2rL} (R_n^2 - r^2). \quad (5)$$

Скорости деформации в зоне 1:

$$\xi_{r1} = \frac{\partial v_{r1}}{\partial r} = \frac{v_n}{2L} \left( 1 + \frac{R_n^2}{r^2} \right); \quad (6)$$

$$\xi_{z1} = \frac{\partial v_{z1}}{\partial z} = -\frac{v_n}{L}; \quad (7)$$

$$\xi_{\theta 1} = \frac{v_{\theta 1}}{r} = \frac{v_n}{2L} \left( 1 - \frac{R_n^2}{r^2} \right); \quad (8)$$

$$\xi_{rz1} = \xi_{z\theta 1} = \xi_{\theta r1} = 0. \quad (9)$$

Интенсивность скоростей деформации определяется, исходя из выражения:

$$\xi_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{I_2(D_\xi)}, \quad (10)$$

где  $I_2(D_\xi)$  — второй инвариант девиатора деформации.

После подстановки в (10) значений из (6—9), получим:

$$\xi_{i1} = \frac{v_n}{\sqrt{3}L} \sqrt{3 + \frac{R_n^4}{r^4}}. \quad (11)$$

Полученные выражения для радиальной и тангенциальной скоростей деформации зависят от координаты  $r$ , а осевая деформация остается постоянной по всему объему кольцевой области. На рисунках 2—6 представлены зависимости параметров деформированного состояния заготовки в кольцевой области, нормированные на  $R_{вн}$ .

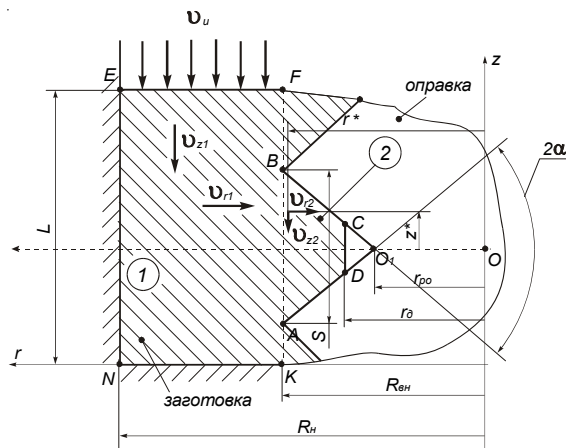


Рисунок 1. Схема к анализу процесса выдавливания резбы.

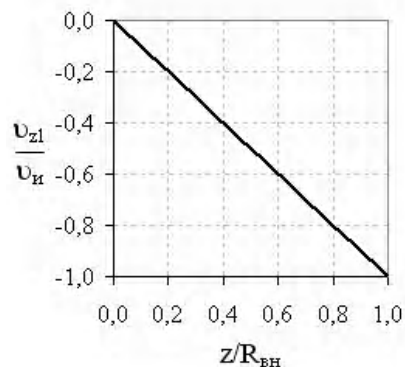
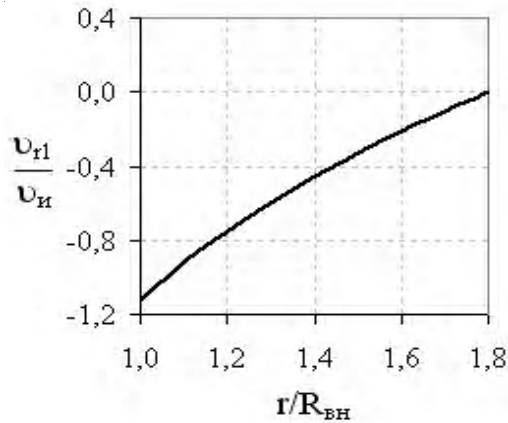
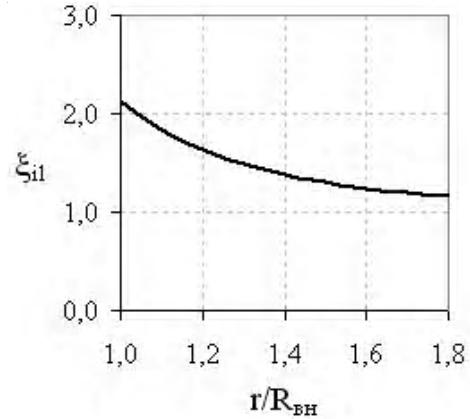


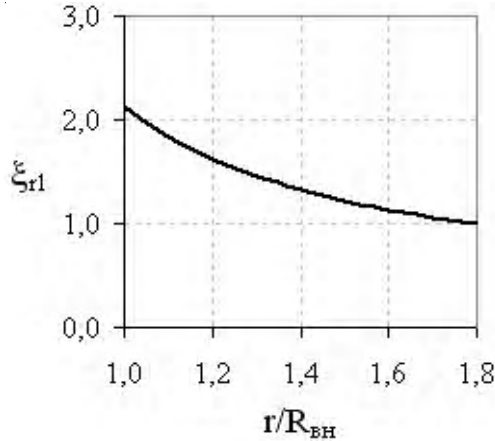
Рисунок 2. Зависимость отношения осевой скорости течения металла к скорости перемещения пуансона от координаты  $z/R_{вн}$ .



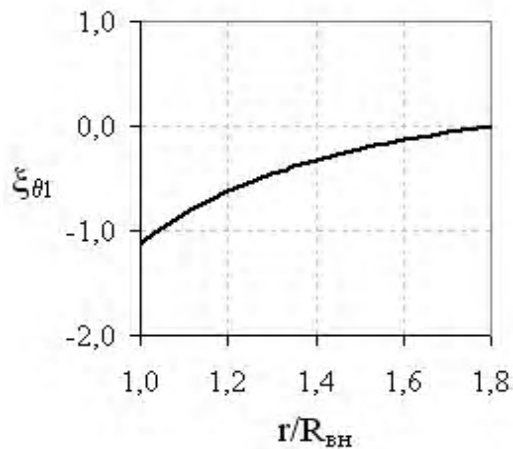
**Рисунок 3.** Зависимость отношения радиальной скорости течения металла к скорости перемещения пуансона от координаты  $r/R_{\text{вн}}$ .



**Рисунок 6.** Зависимость интенсивности скоростей деформации от координаты  $r/R_{\text{вн}}$ .



**Рисунок 4.** Зависимость радиальной скорости деформации течения металла от координаты  $r/R_{\text{вн}}$ .



**Рисунок 5.** Зависимость тангенциальной скорости деформации течения металла от координаты  $r/R_{\text{вн}}$ .

Для определения скоростей перемещений и деформаций металла в зоне 2 (область ABCD, где АВ – поверхность «разрыва» скоростей), воспользуемся следующим соотношением:

$$v_{r1}^* A_1 = v_{r2} A_2, \quad (12)$$

где  $v_{r1}^*$  – радиальная составляющая скорости на поверхности АВ, которая при  $r = R_{\text{вн}}$  равна  $v_{r1}$

$$v_{r1}^* = -\frac{v_n}{2R_{\text{вн}}L} (R_n^2 - R_{\text{вн}}^2). \quad (13)$$

$A_1$  – площадь поверхности, на которой происходит разрыв скоростей;

$$A_1 = 2\pi R_{\text{вн}} S, \quad (14)$$

где  $S$  – высота поверхности «разрыва» скоростей АВ (шаг резьбы);

$A_2$  – площадь поверхности, на которой действует  $v_{r2}$ ;

$$A_2 = 2\pi r x, \quad (15)$$

где  $x$  – высота поверхности «внутри» профиля резьбы (например, поверхность CD (см. рис. 1));

Из подобия треугольников, которые могут быть выделены в резьбовом профиле с общей вершиной (например, в точке О), можно записать:

$$\frac{S}{x} = \frac{R_{\text{вн}} - r_{\text{по}}}{r - r_{\text{по}}}. \quad (16)$$

Имеем:

$$x = S \frac{r - r_{\text{по}}}{R_{\text{вн}} - r_{\text{по}}}. \quad (17)$$

Тогда, радиальная скорость течения металла во 2 зоне

$$v_{r2} = -\frac{v_u(R_n^2 - R_{вн}^2)(R_{вн} - r_{po})}{2rL(r - r_{po})}. \quad (18)$$

Так как

$$\tan \alpha = \frac{S}{2(R_{вн} - r_{po})} = \frac{L}{2N(R_{вн} - r_{po})},$$

где  $N$  — число витков.

Получим

$$v_{r2} = -\frac{v_u(R_n^2 - R_{вн}^2)}{4rN(r - r_{po})\tan \alpha}. \quad (19)$$

Скорость  $v_{z2}$  можно определить из условия несжимаемости:

$$\frac{\partial v_{r2}}{\partial r} + \frac{v_{r2}}{r} + \frac{\partial v_{z2}}{\partial z} = 0. \quad (20)$$

Учитывая, что  $v_{z2}|_{z=0} = 0$ , получим:

$$v_{z2} = -\frac{v_u z(R_n^2 - R_{вн}^2)}{4rN(r - r_{po})^2 \tan \alpha}. \quad (21)$$

Определим скорости деформации в зоне 2:

$$\xi_{r2} = \frac{\partial v_{r2}}{\partial r} = \frac{v_u(R_n^2 - R_{вн}^2)(2r - r_{po})}{4r^2N(r - r_{po})^2 \tan \alpha}; \quad (22)$$

$$\xi_{z2} = \frac{\partial v_{z2}}{\partial z} = -\frac{v_u(R_n^2 - R_{вн}^2)}{4rN(r - r_{po})^2 \tan \alpha}; \quad (23)$$

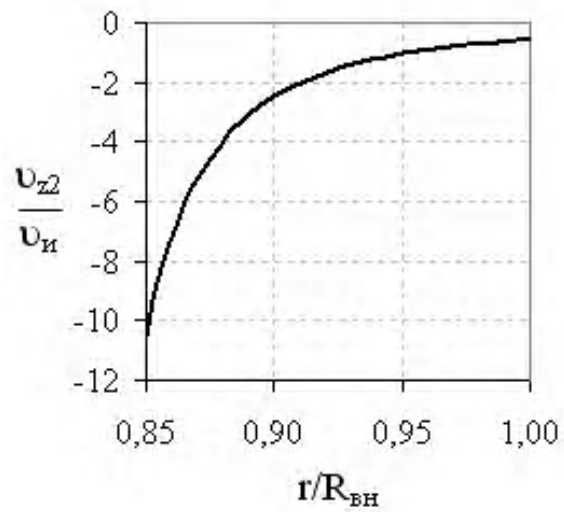
$$\xi_{\theta 2} = \frac{v_{r2}}{r} = -\frac{v_u(R_n^2 - R_{вн}^2)}{4r^2N(r - r_{po})\tan \alpha}; \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \xi_{rz2} &= \frac{\partial v_{r2}}{\partial z} + \frac{\partial v_{z2}}{\partial r} = \\ &= \frac{v_u z(R_n^2 - R_{вн}^2)(3r - r_{po})}{4r^2N(r - r_{po})^3 \tan \alpha}. \end{aligned} \quad (25)$$

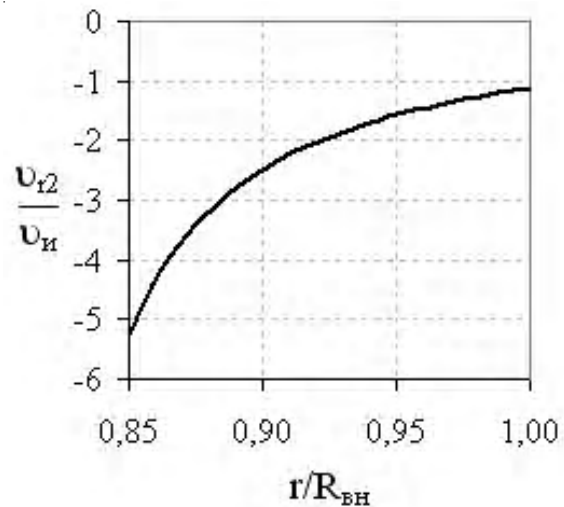
По значениям (22–25) определим интенсивность скоростей деформации в зоне 2:

$$\begin{aligned} \xi_{12} &= \frac{v_u(R_n^2 - R_{вн}^2)}{4\sqrt{3}Nr^2(r - r_{po})^3 \tan \alpha} \times \\ &\times \sqrt{\frac{4(3r^2 - 3rr_{po} + r_{po}^2)(r - r_{po})^2}{3(3r - r_{po})^2} + z^2}. \end{aligned} \quad (26)$$

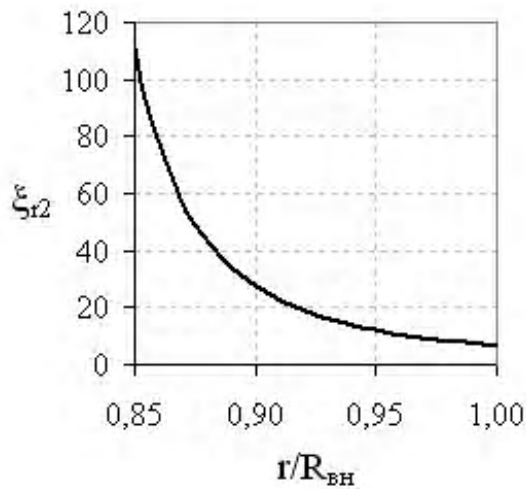
Полученные выражения для определения деформированного состояния заготовки в резьбовой области дают зависимость данных параметров от текущих координат  $r$  и  $z$ . На рисунках 7–13 представлены графики зависимостей параметров деформированного состояния заготовки в резьбовой области. В случае рассмотрения двухстороннего процесса выдавливания резьбы все выкладки верны с учетом появления плоскости симметрии по середине гайки и связанного с этим уменьшении параметра  $L$  в 2 раза.



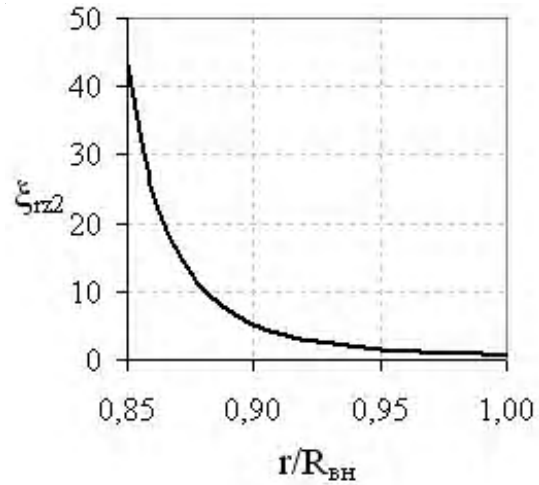
**Рисунок 7.** Зависимость отношения осевой скорости течения металла к скорости перемещения пуансона от координаты  $r/R_{вн}$ .



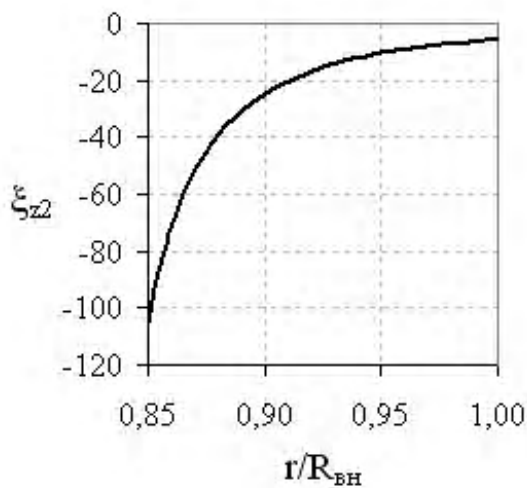
**Рисунок 8.** Зависимость отношения радиальной скорости течения металла к скорости перемещения пуансона от координаты  $r/R_{вн}$ .



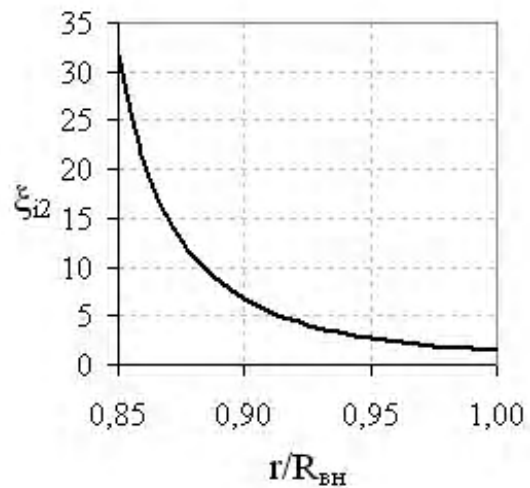
**Рисунок 9.** Залежність радіальної швидкості деформації течія металу від координати  $r/R_{BH}$ .



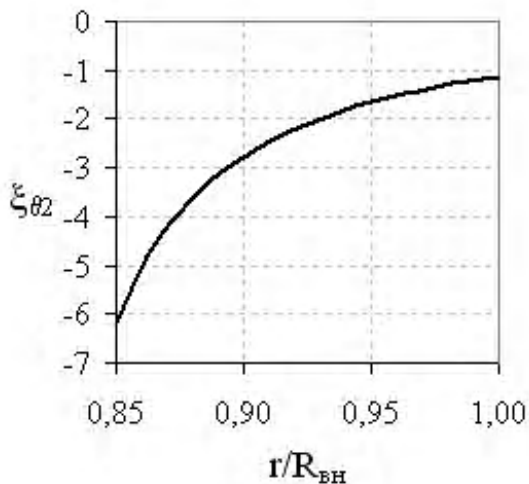
**Рисунок 12.** Залежність тангенціальної швидкості деформації течія металу від координати  $r/R_{BH}$ .



**Рисунок 10.** Залежність осової швидкості деформації течія металу від координати  $r/R_{BH}$ .



**Рисунок 13.** Залежність інтенсивності швидкостей деформації від координати  $r/R_{BH}$ .



**Рисунок 11.** Залежність тангенціальної швидкості деформації течія металу від координати  $r/R_{BH}$ .

## Выводы

На основании выполненного анализа процесса пластического формообразования внутренней резьбы на цилиндрической поверхности заготовки и резьбовой области при боковом выдавливании установлено:

- деформированное состояние заготовки в кольцевой области зависит от текущей координаты « $r$ », за исключением осевой составляющей скорости течения частиц металла  $v_{z1}$ , линейно зависящей от текущей координаты « $z$ » и обратно пропорциональной длине заготовки  $L$ ;
- основное влияние на радиальную скорость ( $v_{r1}$ ) течения частиц металла и радиальную скорость деформации ( $\xi_{r1}$ ) оказывает толщина

стенки заготовки, с увеличением которой возрастают значения указанных параметров;

— тангенциальная скорость деформации ( $\xi_{\theta 1}$ ) является постоянной;

— интенсивность скоростей деформации ( $\xi_{\dot{\epsilon}_1}$ ) возрастает с увеличением толщины стенки заготовки;

— наибольшие значения скоростей принимает радиальная составляющая, что обеспечивает течение металла в резьбовой профиль;

— параметры деформированного состояния заготовки в резьбовой области зависят от текущих координат «r» и «z».

Полученные результаты дают предпосылки для формирования основных положений инженерного подхода к расчету деформированного состояния цилиндрической заготовки металла при производстве крепежных изделий, широко применяемых при возведении кровли, что и составит предмет дальнейших изысканий.

## Литература

1. Матвиенко, А. В. Холодное выдавливание резьбы на тонкостенных деталях : учебное пособие / А. В. Матвиенко, А. К. Кралін. — Донецк : Изд-во Ноулидж (донецкое отделение), 2010. — 85 с.
2. Загурский, В. И. Прогрессивные способы обработки резьбы / Владимир Иванович Загурский. — М. : Машгиз, 1960. — 125 с.
3. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев / Лапин В. В., Писаревский М. И., Самсонов В. В., Сизов Ю. И. — Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. — 228 с.
4. Матвиенко, А. В. Повышение эффективности изготовления тонкостенных резьбовых изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Матвиенко Андрей Константинович. — Макеевка, 1999. — 177 с.
5. Евстратов, В. А. Холодная объемная штамповка накидных гаек / В. А. Евстратов, О. М. Иванов, Г. В. Сопилкин // Технология и организация производства. — 1980. — № 3. — С. 34–36.
6. Матвиенко, А. В. Новые способы формообразования резьбовых поверхностей / А. В. Матвиенко, А. Г. Сопилкин, В. И. Авдеев // Прогрессивные технологии машиностроения и современность : сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. (Севастополь 9–12 сент. 1997 г.) / М-во образования Украины, М-во Украины в делах науки и технологий [и др.]. — Донецк : ДонГТУ, 1997. — С. 121–129.
7. Овчинников, А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / Анатолий Георгиевич Овчинников. — М. : Машиностроение, 1983. — 200 с.
8. Матвиенко, А. Холодная штамповка резьбы на внутренней цилиндрической поверхности детали / А. Матвиенко, А. Кралін, В. Лазуткин // *Technologii Moderne, Calitate, Restructurare: Universitatea Tehnica a Moldovei, Chisinau*. — 2001. — Vol. 3. — P. 218–222.
9. Спосіб утворення різьбового профілю в порожнистих циліндричних деталях : пат. 80176 Україна : МПК B21K 1/00, B21H 3/00 / Кралін А. К., Матвиенко А. В., Фініченко В. О. ; власник ДонНАБА. — № а 2005 06406 ; подання заявки 29.06.05 ; дата публікації 27.08.07, Бюл. № 13. — 4 с. : іл.

**Кралін Андрій Костянтинович** — к. т. н., доцент кафедри підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин та обладнання Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: пластичне формоутворення різьбового профілю; дослідження динамічних процесів, що виникають в роторних установках.

**Кралін Андрей Константинович** — к. т. н., доцент кафедры подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: пластическое формообразование резьбового профиля; исследование динамических процессов, возникающих в роторных установках.

**Andrey Kralin** — Ph. D. (Eng), an Assistant Professor of the Hoisting-and-Conveying, Building, Road-Building Machines and Equipment Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: plastic shape forming of thread profile; investigations of the dynamic processes in rotor setups.