

УДК 621.438.002.2

Тітов¹ В.А. д.т.н., проф., Злочевська¹ Н.К., Герасимова² О.В.

1 – НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна;

2 – Національний авіаційний Університет, м. Київ, Україна

ВПЛИВ ФОРМИ КАНАЛУ МАТРИЦІ НА ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ГВИНТОВОМУ УШИРЯЮЧОМУ ПРЕСУВАННІ

Titov¹ V., Zlochevska¹ N., Gerasimova² O.

1 - National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

2 - National aviation University, Kyiv, Ukraine

CHANNEL MATRIX FORM IMPACT ON PARAMETERS OF DEFORMATION OF SCREW BROADENING PRESSING

Виконано аналіз впливу форми каналу матриці на параметри процесу деформування заготовок. Показано, що при проходженні заготовкою робочого каналу матриці накопичена деформація визначається сумарною по зонам деформування. Розподіл максимального рівня накопиченої інтенсивності деформацій по перерізу заготовки, залежить від геометричних параметрів матриці і практично не залежить від механічних властивостей та виду матеріалу заготовки. Дана оцінка ступеню реалізації характеристики матриці з урахуванням взаємодії механізмів гвинтового деформування та проковзування матеріалу при гвинтовому уширяючому пресуванні в напрямку осі руху заготовки.

Ключові слова: гвинтове уширяче пресування, гвинтове поле, форма каналу матриці, накопичена деформація, швидкість матеріальних точок, рівно канальне пресування

Вступ

Серед методів обробки металів, що створюють великі деформації зсуву в осередку деформації при зберіганні поперечного перерізу заготовки, найбільш поширеними, є рівноканальне кутове пресування [1, 2] та гвинтова екструзія [3]. В результаті великих пластичних деформацій зсуву розміри структурних елементів (зерен, кристалів, фрагментів та інших) зменшується і досягають значень, характерних для нано- і субмікроструктурних матеріалів. Внаслідок цього метали здобувають якісно нові властивості. Зокрема, вони мають високу (на 20-40% більше) міцність в поєднанні з великою пластичністю. Однак по ефективності впливу на структуру металу та продуктивності процесу більш перспективним є – метод гвинтової екструзії. Аналіз робіт [4-8] показав, що на механічні властивості отриманих заготовок в значній мірі впливають форма гвинтового каналу, наявність протитиску, якість вихідного матеріалу, змащення.

Тому, керування формою гвинтового каналу може забезпечити рівномірність механічних властивостей матеріалу заготовки. В якості процесу формування властивостей матеріала заготовок обраний процес рівноканального гвинтового уширяючого пресування (ГУП), оснований на принципах гвинтової екструзії з використанням матриці, еліптичної форми перерізу запропонованої авторами [9].

Мета роботи дослідження впливу форми каналу матриці на параметри процесу деформування заготовок при гвинтовому уширяючому пресуванні.

Дослідження. Загальні припущення, прийняті в аналізі процесу гвинтового уширяючого пресування, щодо кінематичних особливостей руху заготовки поздовж каналу матриці (рис.1): заготовка при деформуванні рухається вздовж вісі каналу матриці OZ з швидкістю V_0 , яка визначається швидкістю руху інструмент-пуансона; в випадку рівноканального гвинтового пресування швидкість V_0 визначає переміщення всіх матеріальних часток заготовки в напрямку вісі OZ. Враховуючи, що в усіх поперечних перерізах каналу матриці площа постійна, то деформація заготовки відбувається в площині $ro\phi$. Тому швидкість матеріальних часток заготовки на протязі всього каналу матриці в напрямку осі OZ постійна; в випадку рівноканального гвинтового пресування з редукуванням заготовки на етапі її виходу з робочої частини матриці швидкість переміщення часток в напрямку вісі OZ до виходу з матриці постійна і дорівнює V_0 . В результаті редукування (обтиску заготовки) на виході з матриці швидкість переміщення матеріальних часток в напрямку осі OZ збільшується у відповідності до ступеня обтискання при редукуванні.

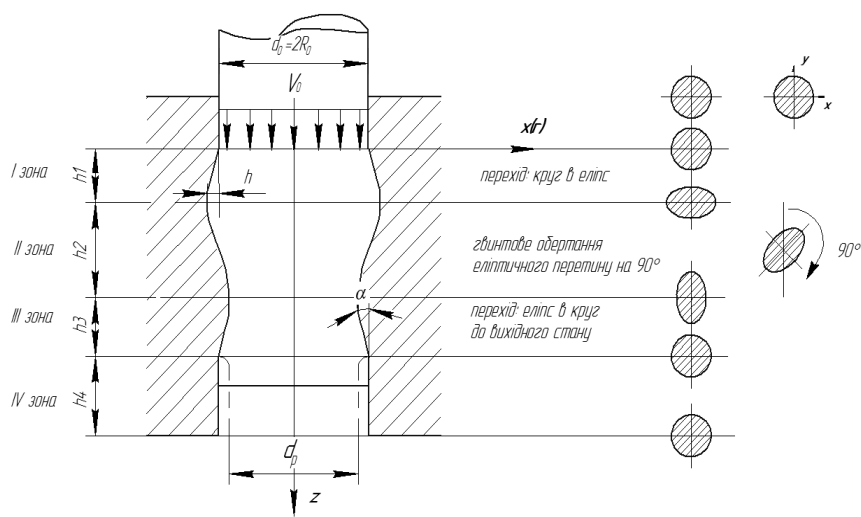


Рис. 1. Схема руху заготовки поздовж каналу матриці

В процесі руху заготовка в напрямку вісі OZ змінює форму – деформується. Схема руху заготовки в напрямку вісі OZ наведена на рис. 1. При цьому в процесі формоутворення заготовки на робочій поверхні матриці можна виділити наступні характерні зони, які відрізняються особливостями деформування:

а) Зона I. Заготовка в процесі руху змінює форму поперечного перерізу, при цьому початковий поперечний переріз в формі круга за рахунок деформації перетворюється в форму еліпса з співвідношенням головних діагоналей 0,76. Заготовка проходить цю зону за час

$$t_I = \frac{h_1}{V_0}; \quad (1)$$

б) Зона II. Заготовка еліптичної форми проходить по гвинтовому каналу матриці. Гвинтовий поворот заготовки відбувається на кут близький 90° . Час проходження заготовки в цій зоні

$$t_{II} = \frac{h_2}{V_0}; \quad (2)$$

в) Зона III. Заготовка в процесі руху вздовж третьої зони змінює форму поперечного перерізу. Таким чином, що початковий поперечний еліптичний переріз, який отримано при деформуванні в зоні I, набуває форму круга еквівалентної площі поперечного перерізу. Заготовка проходить цю зону за час

$$t_{III} = \frac{h_3}{V_0}; \quad (3)$$

В результаті проходження цих зон реалізується процес рівноканального гвинтового пресування. На виході заготовка має габаритні розміри, які відповідають початковим розмірам заготовки (рис. 1 – суцільна лінія контуру матриці).

В випадку створення додаткового осьового стиску заготовки використовують редукування на наступному етапі (зона IV) за рахунок зменшення діаметру поперечного перерізу з d_0 до d_p (рис. 1 – штрихова лінія контуру матриці). Заготовка проходить цю зону за час

$$t_{IV} = \frac{h_4}{V_0}. \quad (4)$$

При проходженні заготовкою робочого каналу матриці накопичена деформація визначається сумарною по зонам деформацією за час проходження її поздовж осі матриці [10]

$$e_{ij} = \sum_1^k \int_{t_{k-1}}^{t_k} \varepsilon_{ij}^{(k)} dt, \quad (5)$$

де $\varepsilon_{ij}^{(k)}$ - компоненти тензора швидкостей деформацій заготовки в k -й зоні ($k=1, 2, 3, 4$); t_k - час проходження заготовкою відповідних зон.

Для можливості коректного виконання рівняння (5) аналіз процесу виконано у єдиній для всіх зон – циліндричній системі координат.

В зоні I заготовка змінює форму поперечного перерізу в наслідок деформування з круга на еліптичну. В цьому випадку компоненти вектору швидкостей в циліндричній системі координат мають вигляд:

$$\begin{cases} V_r = \frac{3V_1 r}{2(R_0 - v_1 t)} \cos 2\phi \left(1 - \frac{r^2}{3(R_0 - v_1 t)^2} + \frac{r^4 \sin^2 2\phi}{12(R_0 - v_1 t)^4} \right); \\ V_\phi = -\frac{3V_1 r \sin 2\phi}{4(R_0 - v_1 t)} \left(2 - \frac{4r^2}{3(R_0 - v_1 t)^2} + \frac{r^4 \sin^2 2\phi}{6(R_0 - v_1 t)^4} \right); \\ V_z = V_0. \end{cases} \quad (6)$$

При визначенні швидкості зміни контуру поперечного перерізу V_1 , величина якої входить в рівняння (6), для зв'язку з відомою швидкістю деформування V_0 , використано геометричний параметр профілю матриці – кут нахилу стінки (α) в зоні I:

$$V_1 = V_0 \tan \alpha. \quad (7)$$

Використовуючи диференціальні співвідношення між швидкостями деформацій та переміщень визначено компоненти тензора швидкостей деформацій з урахуванням (6):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{rr} &= \frac{3V_0 \cdot \cos 2\phi}{2(R_0 - V_1 t)} \left(1 - \frac{r^2}{(R_0 - V_1 t)^2} + \frac{5r^4 \sin^2 2\phi}{12(R_0 - V_1 t)^4} \right); \\ \varepsilon_{\phi\phi} &= -\frac{3V_0 \cdot \cos 2\phi}{2(R_0 - V_1 t)} \left(1 - \frac{r^2}{(R_0 - V_1 t)^2} + \frac{5r^4 \sin^2 2\phi}{12(R_0 - V_1 t)^4} \right); \\ \varepsilon_{r\phi} &= \frac{3V_0 \sin 2\phi}{2(R_0 - V_1 t)} \left(\frac{5}{3} \frac{r^2}{(R_0 - V_1 t)^2} - \frac{5}{12} \frac{r^4 \sin^2 2\phi}{(R_0 - V_1 t)^4} + \frac{\cos^2 2\phi \cdot r^4}{3(R_0 - V_1 t)^4} - 1 \right); \\ \varepsilon_{\phi z} &= 0; \varepsilon_{zr} = 0; \varepsilon_{zz} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Графічно розподіл компонент тензора швидкості деформацій та інтенсивність накопичених деформацій в зоні I показано на рис. 2.

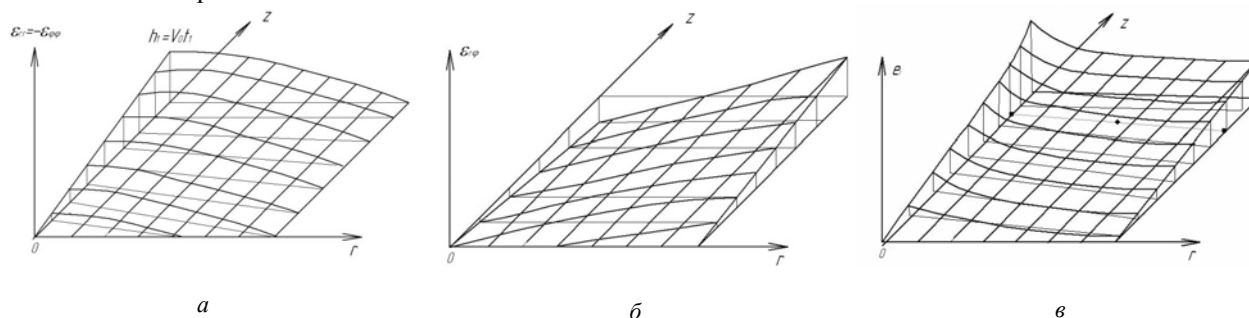


Рис. 2. Залежність швидкості деформацій ε_{rr} , $\varepsilon_{\phi\phi}$ (а) та $\varepsilon_{r\phi}$ (б) а також інтенсивність деформацій ε_i (в) від координат в зоні I

Розрахунок показує, що максимальна величина інтенсивності деформацій має величину 11,0 - 12,5%.

В зоні II заготовка еліптичної форми проходить по гвинтовому каналу матриці постійного еліптичного перерізу. При цьому гвинтовий поворот заготовки відбувається на кут близький до 90° . Гвинтова твірна каналу має постійний кут нахилу θ до вісі паралельній OZ на його поверхні.

В роботах [11] показано, що при гвинтовій екструзії кінематично можливими є два граничних варіанта течії матеріальних часток металу.

Перший граничний варіант описується гвинтовим полем. У другому граничному варіанті матеріальні частки металу рухаються поздовж вісі екструзії з подоланням виступів гвинтової поверхні, як перешкод. Реальна течія металу реалізується, як комбінація розглянутих варіантів та може бути визначена за допомогою варіаційних принципів теорії пластичності.

Оцінка, що проведена в роботі [11], показує, що менше напруження течії при простому зсуві (перший варіант) в порівнянні з розтягом та стиском (другий варіант), робить більш енергетично вигідним течію по першому варіанту.

Враховуючи не значну довжину гвинтової зони II, вважаємо, що деформація в цій зоні розвивається за рахунок тільки зсуву при русі матеріалу по гвинтовій траєкторії, що задається робочою поверхнею матриці.

Відносно деформівного стану вважаємо, що, внаслідок постійності площі поперечного перерізу, деформації повздовж осі OZ відсутні, а швидкість матеріальних точок металу повздовж осі не залежить від координати Z :

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} = 0. \quad (9)$$

Деформування реалізується за рахунок повороту поперечних перерізів у відповідності до руху металу повздовж гвинтової твірної. Тоді швидкість матеріальних точок в площинні перерізу не залежить від координати ϕ

$$\frac{\partial V_\phi}{\partial \phi} = 0. \quad (10)$$

Враховуючи (9) та (10), остаточно знаходимо компоненти вектора переміщень:

$$V_\phi = \frac{V_0 \operatorname{tg} \theta}{Rl} r z; \quad V_r = 0; \quad V_z = 0. \quad (11)$$

Відповідно (11) компоненти тензора швидкостей деформацій має вигляд:

$$\varepsilon_{rz} = -\varepsilon_{zr} = V_0 \frac{\operatorname{tg} \theta}{Rl} r. \quad (12)$$

Аналіз (12) показує, що деформації зсуву розвиваються в площині ϕz , а їх величина пропорційна куту гвинтової твірної θ .

Максимальна величина деформацій співпадає з периферійними зонами. Величина їх знижується до нуля на осі каналу, що визначає нерівномірність деформацій по поперечному перерізу заготовки.

В зоні III заготовка змінює форму поперечного перерізу в наслідок деформування еліптичного перерізу заготовки, що виходить з гвинтової частини каналу, на форму круга. В процесі деформування виконується умова рівності площин поперечного перерізу еліптичної та кругової частин заготовки.

По характеру течії металу в зоні III процес можна розглядати як обернений відносно до деформування в зоні I. Тому матеріальні частки заготовки переміщуються в процесі деформування зі швидкістю $\vec{V}_3 = -\vec{V}_1$, а компоненти вектору швидкостей переміщень та тензору швидкостей деформацій можна визначити по аналогії зі співвідношеннями (6) та (8).

Розрахунок деформацій заготовки після ГУП виконано на основі (5) з урахуванням основних результатів отриманих для зон I, II, та III а також методики теоретичних досліджень.

Розрахункові значення інтенсивності деформацій при проходженні заготовкою робочого каналу матриці, що використовується в роботі, наведені на рис. 3.

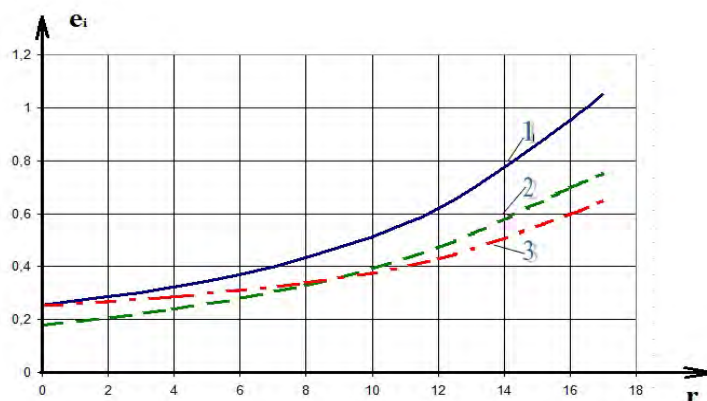


Рис. 3. Розподіл інтенсивності деформацій по поперечному перерізу заготовки після ГУП: 1-теоретична крива; 2 – експериментальна крива; 3 – теоретична з урахуванням двох механізмів деформування

Теоретична залежність, що наведена на рис. 3 (крива 1) є характеристикою інструменту – матриці. Вона визначає максимальний рівень накопиченої інтенсивності деформацій по перерізу заготовки після гвинтового уширяючого пресування. Рівень деформацій, який визначається кривою 1 (рис. 3), залежить від геометричних параметрів матриці при ГУП. Цей рівень деформацій не залежить від механічних властивостей заготовки, а також виду матеріалу заготовки, тому визначається кінематичними особливостями течії металу в матриці.

Рівень деформацій, що визначає крива 1 (рис. 3), є максимальним теоретично досягаємим рівнем деформацій при обробці заготовок. Практично його величина залежить від багатьох факторів, що визначаються умовами деформування, в основному це умови тертя на контактних поверхнях робочого каналу матриці.

Цей розподіл деформацій реалізується у відповідності до прийнятої гіпотези, що матеріал заготовки рухається по гвинтовій частині каналу без проковзування повздовж осі каналу. Якщо в дію вступає механізм проковзування заготовки повздовж осі матриці, величина накопиченої деформації зменшується відповідно до кривої 2 (рис 3).

Якщо врахувати два механізми деформування, то загальний вектор швидкостей переміщення матеріальних часток деформуємої заготовки записується наступним чином:

$$\vec{V}_3 = \vec{V}_1 + \vec{V}_2, \quad (13)$$

де V_1 і V_2 – вектори швидкостей переміщення матеріальних часток заготовки, відповідно, гвинтового деформування та проковзування у напрямку осі руху заготовки.

Деформування по механізму гвинтового пресування (вектор \vec{V}_1) наведено у попередніх розділах цієї роботи.

Співвідношення кінематичних механізмів деформування може бути враховано ваговим коефіцієнтом λ , як це зроблено в роботі [11]. Тоді компоненти вектора швидкостей переміщень будуть зав'язані скалярною залежністю:

$$V_{3i} = \lambda V_{1i} + (1-\lambda) V_{2i}, \quad (14)$$

де i – індекс координатних осей.

В роботі величина вагового коефіцієнта аналітично визначалась шляхом мінімізації функціонала питомої роботи деформування $a(V_{3i})$, яка залежить від компонент вектора швидкостей переміщень V_{3i} :

$$\frac{\partial [a(V_{3i})]}{\partial \lambda} = 0. \quad (15)$$

Для гвинтового уширяючого пресування залежність розподілу інтенсивності деформацій по перерізу заготовки буде лежати нижче характеристики інструменту (крива 1) та відповідати кривій 3. Характерною особливістю цієї кривої є практичне співпадіння її з кривою 1 в центрі заготовки, тому що на осі заготовки деформація формується за рахунок зони I та зони III, що відповідають за уширяючу складову накопиченої деформації.

Висновки

1. Розроблено математичну модель процесу гвинтового уширяючого пресування з використанням теорії пластичної течії, яка описує поле швидкостей переміщення матеріальних часток в осередку деформацій з використанням просторово-часової системи координат, що дозволило зв'язати параметри процесу деформування заготовок з формою каналу матриці.

2. Показано, що при проходженні заготовкою робочого каналу матриці накопичена деформація визначається сумарною по зонам деформацією за час проходження її повздовж осі матриці. Отримана теоретична залежність розподілу максимального рівня накопиченої інтенсивності деформацій по перерізу заготовки після ГУП, яка залежить від геометричних параметрів матриці (характеристики інструменту матриці) і практично не залежить від механічних властивостей та виду матеріалу заготовки.

3. Дана оцінка ступеню реалізації характеристики матриці з урахуванням взаємодії механізмів гвинтового деформування та проковзування матеріалу при пресуванні (ГУП) в напрямку осі руху заготовки. Врахування механізмів деформування виконано на кінематичному рівні загальним вектором швидкостей переміщення матеріальних часток деформуємої заготовки, а їх дольовий вклад в розвиток деформацій враховано ваговим коефіцієнтом в скалярному рівнянні адитивності для компонент загального вектора. Запропоновано величину вагового коефіцієнта визначати шляхом мінімізації функціонала питомої роботи деформування.

4. Встановлено, що наявність механізму проковзування для еліптичної матриці може зменшити величину накопиченої деформації в периферійній зоні до 19-23%. При цьому експериментальний розподіл деформацій дає похибку визначення не більше 11% з кривою, що враховує два механізми деформування, та з характеристикою матриці – не більше 15-17%.

Анотація. *Выполнен анализ влияния формы канала матрицы на параметры процесса деформирования. Показано, что при прохождении заготовкой рабочего канала матрицы накопленная деформация определяется суммарной по зонам деформацией. Распределение максимального уровня накопленной интенсивности деформаций по сечению заготовки, зависит от геометрических параметров матрицы и практически не зависит от механических свойств и вида материала заготовки. Данна оцінка ступені реалізації характеристики матриці з урахуванням взаємодії механізмів винтового деформування і проскальзання матеріалу при винтовому уширяючому пресуванні в напрямку осі руху заготовки.*

Ключевые слова: *винтовое уширяющее пресование, винтовое поле, форма канала матрицы, накопленная деформация, скорость материальных точек, ровноканальное пресование*

Abstract. The analysis of influence of form of channel of matrix is executed on the parameters of process of deformation. It is shown that at passing the accumulated deformation is determined the purveyance of working channel of matrix by total on zones deformation. Distribution of maximal level of the accumulated intensity of deformations on the section of purveyance, depends on the geometrical parameters of matrix and practically does not depend on mechanical properties and type of material of purveyance. This estimation of degree of realization of description of matrix taking into account cooperation of mechanisms screw of deformation and slipping of material at the screw broadening pressing in the direction of axis of motion of purveyance. It is set that the presence of mechanism of slipping for an elliptic matrix can decrease size of the accumulated deformation in a peripheral zone. Thus experimental distribution of deformations gives the error of determination no more 11% with a curve that takes into account two mechanisms of deformation.

Keywords: screw broadening pressing, screw field, form of channel of matrix, accumulated deformation, speed of material points, equal channel pressing

Бібліографічний список використаної літератури

1. *Валиев Р.З.* Развитие равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлов и сплавов // - Металлы. - 2004.- №1. - С. 15-21.
2. *Рааб Г.И.* К вопросу промышленного получения объемных ультрамелкозернистых материалов // - Физика и техника высоких давлений. - 2004. Т.15. № 1. - С. 72-80.
3. *Бейгельзимер Я.Е.* Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций: підруч. [для студ. вищ. нач. закл.] / Я.Е.Бейгельзимер, В.Н.Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков. – Донецк: ТЕАН, 2003. – 87с.
4. *Beygelzimer Y.* A new severe plastic deformation method: Twist Extrusion / Y. Beygelzimer, D. Orlov, V. Varyukhin // - Ultrafine Grained Materials II: «Proceed. of TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)». – 2002. – P. 297-304.
5. *Varyukhin V.N.* High pressure effects in severe plastic deformation / V. N. Varyukhin, Y.Y. Beygelzimer, B.M. Efros, O.V. Prokof'eva, V.P. Pilyugin // - Физика и техника высоких давлений. - 2004. – том 14. - №4. - С. 9-18.
6. *Синков С.Г.* Технологические схемы процессов накопления больших пластических деформаций // - Вестник двигателестроения – 2007, - №2, - С. 146-149.
7. *Прокоф'єва О.В.* Оценка величины давления металла на стенки матрицы при винтовой экструзии / О.В. Прокоф'єва, Я.Є. Бейгельзимер // - ВІСНИК Домбаської державної машинобудівної академії -2005, - №1, - С.57-61.
8. *Прокоф'єва О.В.* Влияние профиля сечения матрицы на параметры винтовой экструзии / О.В. Прокоф'єва, Я.Є. Бейгельзимер // - Физика и техника высоких давлений. - 2005. – том 15, - №4. - С. 65-71.
9. *Пат. 64346* України, МПК В21С25/00 Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні /В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська, Е.В. Кондратюк, Г.І. Пейчев /заявл. 10.03.2011; опубл 10.11.2011, Бюл.21
10. *Алексеев Ю.Н.* Введение в теорию обработки металлов давлением прокаткой и резанием. - Харьков: ХГУ, 1969. - 108с
11. *Кулагин Р.Ю.* Совершенствование технологии и устройств винтовой экструзии на основе оценки деформированного состояния заготовок / Дис. к.т.н.: спец 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением / Р.Ю. Кулагин - Краматорск – 2014 – 172с.

References

1. *Valiev R.Z.* Journal of Metallurgy, 2004. no 1. pp. 15-21.
2. *Raab G.I.* Journal of Fizika i tehnika vysokih davlenij, 2004. Vol.15. no 1. pp. 72-80.
3. *Beigelzimer J.E., Varjuhin V.N., Orlov D.V., Synkov S.G.* Vintovaja jekstruzija – process nakoplenija deformacij [Twist extrusion - process for deformation accumulation] Doneck, 2003. 87p.
4. *Beygelzimer Y., Orlov D., V. Varyukhin V.* Journal of Ultrafine Grained Materials II: Proceed. of TMS (The Minerals, Metals & Materials Society). 2002., pp. 297-304.
5. *Varyukhin V. N., Beygelzimer Y.Y., Efros B.M., Prokof'eva O.V., Pilyugin V.P.* Journal of Fizika i tehnika vysokih davlenij 2004. vol. 14. no 4. pp. 9-18.
6. *Sinkov S.G.* Journal of Vestnik dvigatelestroenija. 2007, no 2. pp. 146-149.
7. *Prokof'eva O.V., Beigelzimer Y.Y.* HERALD of the Donbass State Engineering Academy. 2005. no 1, pp.57-61.
8. *Prokof'eva O.V., Beigelzimer Y.Y.* Journal of Fizika i tehnika vysokih davlenij. 2005. vol. 15. no 4, pp. 65-71.
9. *V.A. Titov, M.S. Trivajlo, N.K. Zlochevs'ka, E.V. Kondratjuk, G.I. Pejchev* matricja dlja zmecnennja materialu pri bagatorazovomu presuvanni [A matrix is for strengthening of material at the frequent pressing] Patent Ukraïni no 64346 10.11.2011
10. *Alekseev J.N.* Vvedeniju v teoriju obrabotki metallov davleniem prokatkoj i rezanie. (To introduction to the theory of treatment of metals pressure rolling and cutting). Har'kov: HGU, 1969. 108 p.
11. *Kulagin R.J.* Sovershenstvovanie tehnologi i ustrojstv vintovoj jekstruzii na osnove ocenki deformirovannogo sostojanija zagotovok. Dis. k.t.n.: spec 05.03.05, processy i mashiny obrabotki davleniem. R.Ju. Kulagin. Kramatorsk, 2014, 172p.

Подана до редакції 17.11.2014