

КИРИЦЯ І. Ю.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8280-5552>e-mail: [kyrytsya@vntu.edu.ua](mailto:kyrytsya@vntu.edu.ua)

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМУВАННІ ВИРОБІВ ТИПУ СТАКАН

*В роботі уточнено методику розрахунку використаного ресурсу пластичності заготовок типу «Стакан» в процесах зворотного холодного пластичного формозмінення.*

*При розрахунку використаного ресурсу пластичності враховано вплив об'ємності схеми напруженого стану шляхом використання поверхні граничних деформацій замість діаграм пластичності.*

*Застосування гідростатичного підпору при зворотному видавлюванні дозволило не тільки зменшити ступінь використаного ресурсу пластичності, а також отримати більш рівномірний його розподіл, отже підвищити якість отримуваних заготовок при зворотному видавлюванні і покращити технологічну спадковість готових виробів.*

*Отримані в роботі результати можуть бути використані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.*

*Ключові слова: використаний ресурс пластичності, граничне формозмінення, зворотне видавлювання, холодне пластичне деформування.*

Inna KYRYTSYA

Vinnytsia national technical University

## FEATURES OF THE CALCULATION OF THE USED PLASTICITY RESOURCE DURING COLD FORMING OF GLASS-TYPE PRODUCTS

*The reverse extrusion process is widely used in the production of "Glass" type parts. Due to high technical and economic indicators and great technological possibilities, in recent years, cold plastic deformation has become widely used in machine- and instrument-building plants, in the electrical and radio engineering industry, as well as in other branches of the national economy. However, the possibility of cold plastic deformation by the extrusion method is not yet sufficiently used. The reason is that, traditionally, during the design of metal pressure processing processes, attention is paid to determining the power parameters and ensuring the geometric accuracy of the workpieces. But this does not allow us to assess the ultimate shape change and technological heredity of the finished products and make a quantitative assessment of the damage of the deformed metal.*

*In this work, the process of forming products of the "Glass" type by reverse cold plastic deformation is investigated, in which the used plasticity resource is taken as the most important parameter responsible for the quality of the products.*

*The method of calculation of the used resource of plasticity of "Glass" blanks in the processes of reverse cold plastic forming is clarified.*

*When calculating the used plasticity resource, the effect of the volume of the stress state scheme is taken into account by using the limit deformation surface instead of the plasticity diagrams.*

*The graphs of distribution of the resource of plasticity by the radius of the workpiece are obtained. From the analysis of the results it follows that the greatest intensity of accumulation of damage occurs in the areas of maximum irregularity of plastic deformation. Points of contact of the punch with the workpiece turned out to be dangerous.*

*The use of hydrostatic support in reverse extraction allowed not only to reduce the degree of plasticity used, but also to obtain a more uniform distribution of it, therefore, to improve the quality of the obtained blanks when reverse extrusion and improve the technological heredity of the finished products.*

*The results obtained in the work can be used to estimate the limit change in shape in similar technological processes, which are accompanied by a volumetric scheme of the stressed state.*

*Keywords: used plasticity resource, limit deformation, reverse extrusion, cold plastic deformation.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Формування виробів типу «Стакан» холодним пластичним деформуванням забезпечує якість готових виробів. Процес зворотного видавлювання широко використовується при виробництві деталей типу «Стакан».

Завдяки високим техніко-економічним показникам і великим технологічним можливостям холодне пластичне деформування в останні роки стало широко застосовуватись на машино- і приладобудівних заводах, в електро- і радіотехнічній промисловості, а також в інших галузях народного господарства.

Однак, можливості холодного пластичного деформування методом видавлювання використовуються ще недостатньо. Причиною є те, що традиційно при проектуванні процесів обробки металів тиском увага приділяється визначенню енергосилових параметрів та забезпеченню геометричної точності заготовок. Але це не дозволяє оцінити граничне формозмінення і технологічну спадковість готових виробів та зробити кількісну оцінку пошкодженості здеформованого металу.

Одна з основних проблем під час реалізації процесу зворотного видавлювання полягає у значній неоднорідності розподілу пластичних деформацій та використаного ресурсу пластичності по об'єму здеформованої заготовки, що значно підвищує ймовірність появи браку, обумовленого зародженням мікротріщин. Для усунення існуючих недоліків пропонується використання гідростатичного підпору в процесах зворотного видавлювання.

Варто відмітити, що при формуванні виробів типу «Стакан» холодним пластичним деформуванням реалізується об'ємний напружений стан.

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є уточнення методики розрахунку використаного ресурсу пластичності заготовок типу «Стакан» в процесах зворотного холодного пластичного формозмінення, враховуючи об'ємність схеми напруженого стану.

### Виклад основного матеріалу

В даній роботі досліджується процес формування виробів типу «Стакан» (рис. 1) зворотним холодним пластичним деформуванням, в якому найважливішим параметром, що відповідає за якість виробів, прийнято використаний ресурс пластичності.

На якість і технологічну спадковість деталей машин, отриманих методом обробки металів тиском, суттєво впливає рівень та закон розподілу використаного ресурсу пластичності  $\psi$  по об'єму здеформованої заготовки.

Для оцінки деформовності заготовок і для технологічного забезпечення якості готових виробів необхідна інформація про історію деформування кожної матеріальної частинки в об'ємі заготовки.

Тому, уточнення методики розрахунку використаного ресурсу пластичності в технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану, є актуальним.

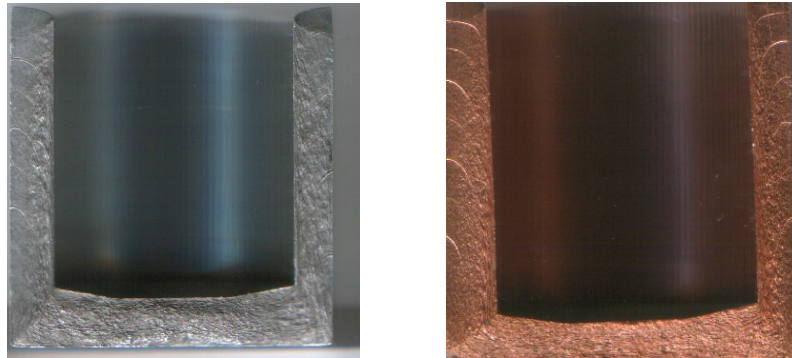


Рис. 1. Фотографії деформованих заготовок з АД0 та М1

За результатами досліджень отриманими в роботах [1-4]: вивчено механіку процесу формування виробів типу «Стакан», як з гідропідпором, так і без; сформовано технологічний паспорт матеріалів (АД0 та М1), з яких виготовляються деталі типу «Стакан»; використовуючи методику запропоновану в роботі [3, 4] розраховано і досліджено напружено-деформований стан в різних областях формуемого виробу з метою оцінки використаного ресурсу пластичності.

В даній роботі використаний ресурс пластичності  $\psi$  розраховували за критерієм (1) [5, 6, 7]

$$\psi = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \quad (1)$$

де  $\mu_\sigma = \frac{2S_2 - S_1 - S_3}{S_1 - S_3}$  – параметр Надаї-Лоде;

$S_1, S_2, S_3$  – компоненти девіатора напружень;

$\eta = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta + \sigma_z}{\sigma_u}$  – показник напруженого стану;

$\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z$  – компоненти тензора напружень;

$\sigma_u$  – інтенсивність напружень;

$e_u$  – інтенсивність деформацій.

Поверхні граничних деформацій для АД0 та М1 визначали за методикою запропонованою І. О. Сиваком в роботі в роботах [5] та [6].

$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,1 \exp(0,42\mu_\sigma - 0,51\eta)$  – поверхня граничних деформацій для АД0 і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при зворотному видавлюванні циліндричних виробів з глухим отвором (рис. 2).

$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,022 \exp(0,38\mu_\sigma - 0,45\eta)$  – поверхня граничних деформацій для М1 і шляхи

деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при зворотному видавлюванні циліндричних виробів з глухим отвором (рис. 3).

Використання поверхонь граничних деформацій для оцінки використаного ресурсу пластичності дозволило врахувати об'ємність схеми напруженого стану.

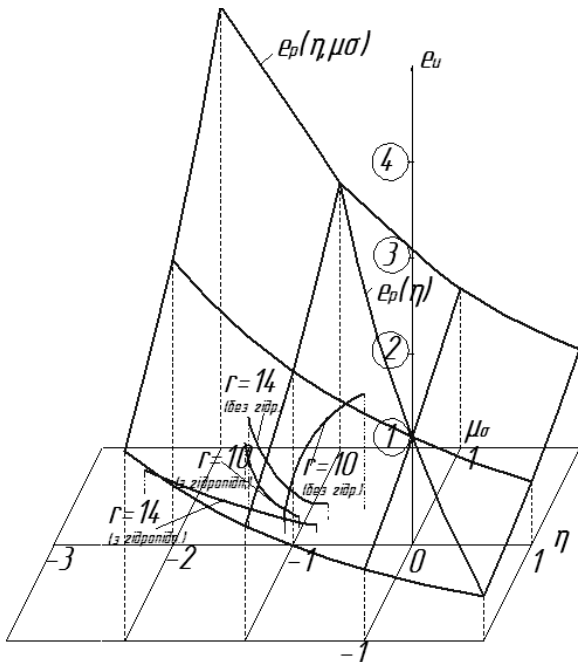


Рис. 2. Поверхня граничних деформацій для АД0 та шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях

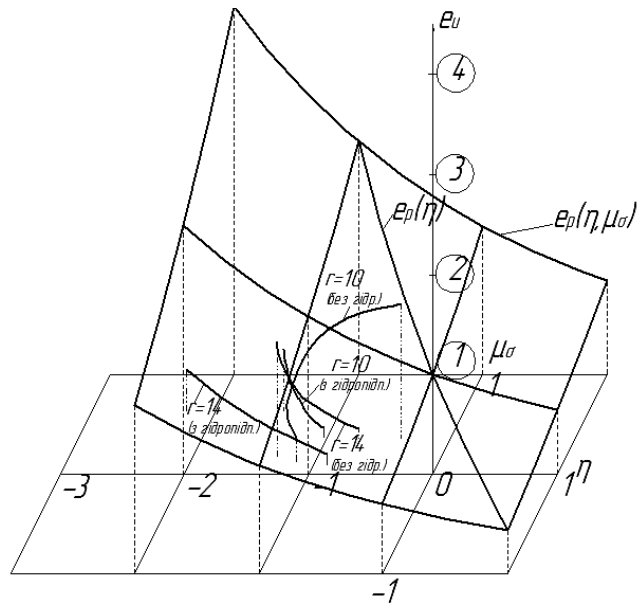


Рис. 3. Поверхня граничних деформацій для М1 та шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях

Найбільш небезпечними, з точки зору руйнування, виявились точки, які знаходяться в області максимальних пластичних деформацій  $z = 0$  (рис. 4),  $r = 10$  і  $14$  мм.

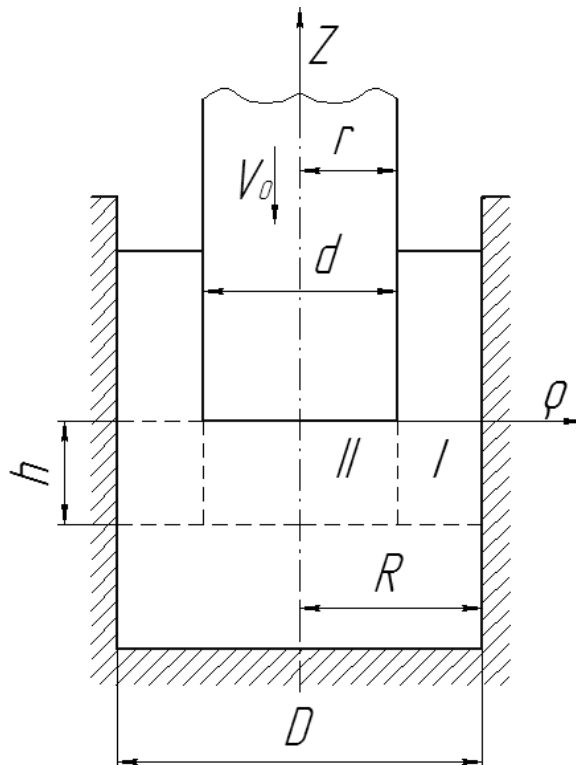


Рис. 4. Розрахункова схема зворотного видавлювання

На рис. 5 та рис. 6 приведені закони зміни інтенсивності деформацій, показників напруженого стану  $\eta$  і  $\mu\sigma$  та використаного ресурсу пластичності  $\psi$  (рис. 7, 8) по радіусу заготовки в небезпечній області при  $z = 0$ .

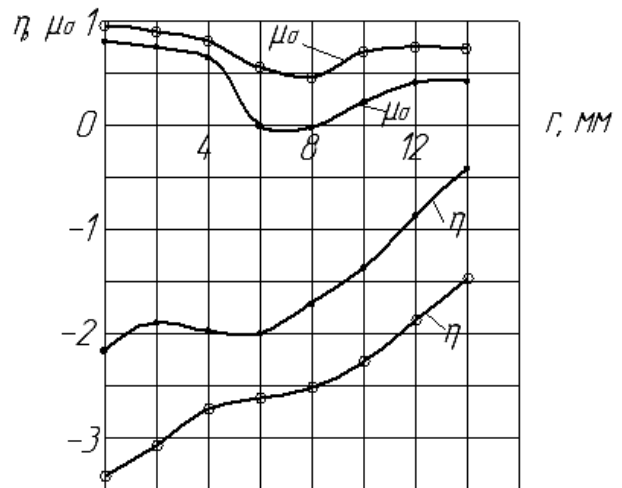
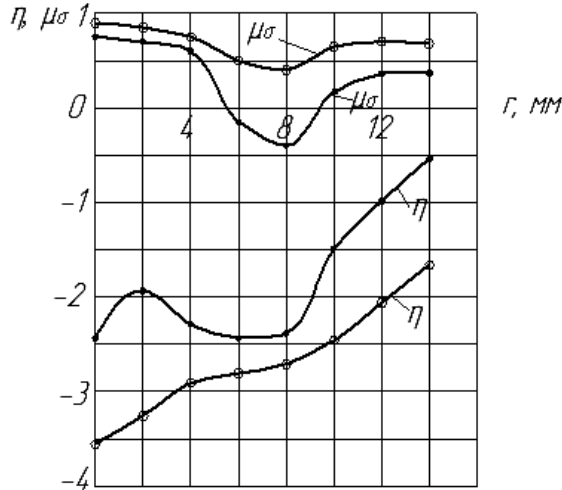
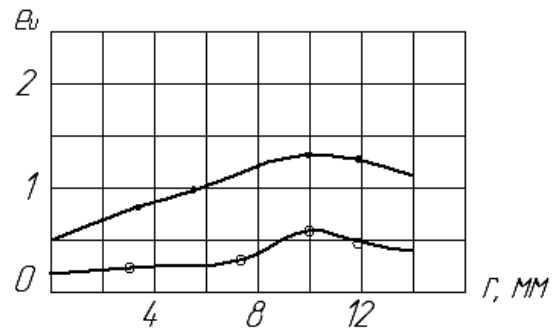
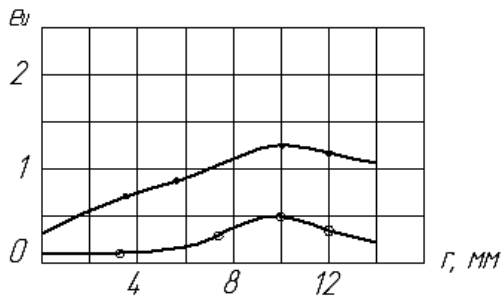


Рис. 5. Зміна інтенсивності деформацій та показників напруженого стану по радіусу заготовки АД0 при  $z = 0$   
 ● – видавлювання без гідропідпору  
 ○ – видавлювання з гідропідпором

Рис. 6. Зміна інтенсивності деформацій та показників напруженого стану по радіусу заготовки М1 при  $z = 0$   
 ● – видавлювання без гідропідпору  
 ○ – видавлювання з гідропідпором

Із аналізів отриманих результатів випливає, що найбільша інтенсивність накопичення пошкоджень має місце в областях максимальної нерівномірності пластичних деформацій. Використання гідростатичного підпору дозволило не тільки зменшити ступінь використання ресурсу пластичності, а також отримати більш рівномірний його розподіл (рис. 7, 8).

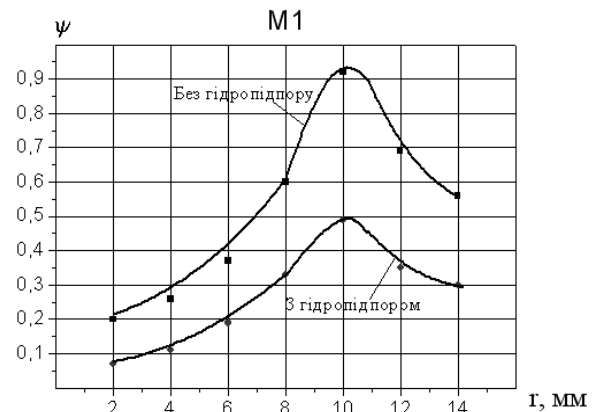
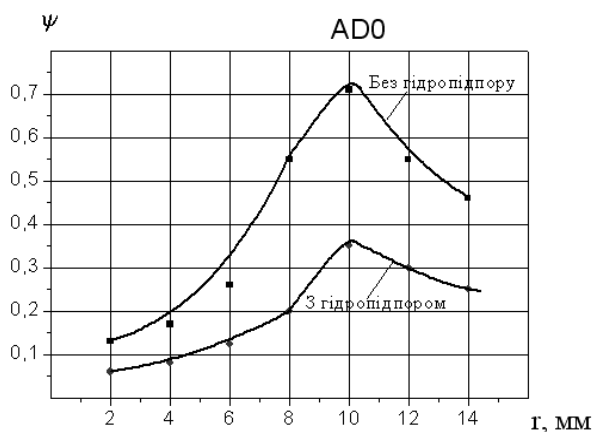


Рис. 7. Зміна використаного ресурсу пластичності по радіусу  $r$  заготовки АД0 при  $z = 0$

Рис. 8. Зміна використаного ресурсу пластичності по радіусу  $r$  заготовки М1 при  $z = 0$

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

Для більш достовірної оцінки деформуємість металів при об'ємному напруженому стані, який має місце при зворотному видавлюванні, удосконалено методику оцінки деформуємість шляхом використання поверхні граничних деформацій замість діаграм пластичності.

Отримано графіки розподілу ресурсу пластичності по радіусу заготовки. Із аналізу отриманих залежностей випливає, що найбільші значення використаний ресурс має в точках з координатами  $\rho = 1, z = 0$ . Крім того значення використаного ресурсу пластичності зменшується з ростом відношення

максимального радіуса заготовки до радіуса пуансона. Небезпечними виявилися точки при контакті пуансона із заготовкою. Використання гідростатичного підпору дозволило не тільки зменшити ступінь використання ресурсу пластичності, а також отримати більш рівномірний його розподіл, отже підвищити якість отримуваних заготовок при зворотному видавлюванні і покращити технологічну спадковість готових виробів.

Встановлено, що використання гідростатичного підпору у порівнянні із схемою без гідропідпору, дозволило не тільки зменшити ступінь використаного ресурсу пластичності, а й отримати більш рівномірний його розподіл.

### Література

1. Пат. 14662 А Україна, МПК<sup>7</sup> В 21 J 13/02. Штамп для холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів типу стакан / Огородніков В.А., Сивак І.О., Кириця І.Ю. – № 11932; Заявл. 12.12.2005; Опубл. 15.05.2006., Бюл. №5. – 2 с.
2. Огородніков В.А., Кириця І.Ю., Муzychuk В.І. Диаграммы пластичности и особенности их построения // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Краматорськ, 2006. – С. 251–255.
3. Огородніков В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : [монографія] / В. А. Огородніков, І. Ю. Кириця, В. Є. Перлов. – Вінниця: – ВНТУ, 2015 – 164 с.
4. Сивак І.О. Оцінка здеформованості заготовок в процесах холодного зворотного видавлювання / І. О. Сивак, І. Ю. Кириця, Н. В. Нікітіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 6. – С. 92–96.
5. Сивак І. О. Поверхность предельной пластичности // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії. Краматорськ: ДДМА – 1999. – С. 9–15.
6. Сивак І. О., Коцюбивская К. И. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – С. 74–76.
7. Кириця І. Ю. Феноменологічні критерії руйнування // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 3. – С. 75-81.

### References

1. Pat. 14662 A Ukraine, MPK<sup>7</sup> B 21 J 13/02. Shtamp dlia kholodnoho zvorotnoho vydavliuvannia porozhnistykh vyrobiv typu stakan / Ogorodnikov V.A., Syvak I.O., Kyrytsia I.Yu. – № 11932; Zaiavl. 12.12.2005; Opubl. 15.05.2006., Biul. №5. – 2 s.
2. Ogorodnikov V.A., Kirica I.Yu., Muzychuk V.I. Diagrammy plastichnosti i osobnosti ih postroeniya // Udoskonalennya procesiv i obladnannya obrobki tiskom v metalurgiyi i mashinobuduvanni: Zb. nauk. prac. – Kramatorsk, 2006. – S. 251–255.
3. Ogorodnikov V. A. Mekhanika protsesiv kholodnoho plastychnoho deformuvannia visesymetrychnykh zahotvok z hlukhym otvorom : [monohrafiia] / V. A. Ogorodnikov, I. Yu. Kyrytsia, V. Ye. Perlov. – Vinnytsia: – VNTU, 2015 – 164 s.
4. Syvak I.O. Otsinka zdeformovanosti zahotvok v protsesakh kholodnoho zvorotnoho vydavliuvannia / I. O. Syvak, I. Yu. Kyrytsia, N. V. Nikitina // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2007. – № 6. – S. 92–96.
5. Sivak I. O. Poverhnost predelnoi plastichnosti // Udoskonalennya procesiv ta obladnannya obrobki tiskom u mashinobuduvanni ta metalurgiyi. Kramatorsk: DDMA – 1999. – S. 9–15.
6. Sivak I. O., Kocyubivskaya K. I. Plastichnost metallov pri obemnom napryazhennom sostoyanii // Udoskonalennya procesiv i obladnannya obrobki tiskom v metalurgiyi i mashinobuduvanni: Zb. nauk. prac. – Kramatorsk, 2007. – S. 74–76.
7. Kyrytsia I. Yu. Fenomenologichni kryterii ruinuvannia // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2022. – № 3. – S. 75-81.

Рецензія/Peer review : 25.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.