

**Сергій Францевич Сабол¹, Ольга Віталіївна Холявік², Юрій Петрович Бородій³,
Павло Юрійович Проценко⁴, Валерій Володимирович Піманов⁵,
Георгій Русланович Компанієць⁶**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: sabol1@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-8585-508X>

²кандидат технічних наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: o.holiavik@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6539-4467>

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: borodiyuriy@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8050-0379>

⁴кандидат технічних наук, старший викладач кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: pavloprocenko64@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9390-0718>

⁵кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології виробництва літальних апаратів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: pimanov@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6609-6904>

⁶студент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: gora272002@gmail.com

ВПЛИВ ТИСКУ РІДИНИ НА ТЕХНОЛОГІЧНУ ПЛАСТИЧНІСТЬ МЕТАЛУ ПРИ ПРЯМОМУ ГІДРОМЕХАНІЧНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ

У роботі представлено результати проведення чисельних експериментів з моделювання процесу холодного гідромеханічного видавлювання методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу Deform, з метою визначення впливу основних параметрів видавлювання (тиск рідини, ступінь деформації, граничні умови) на напружено-деформований стан (НДС) заготовки, зусилля гідромеханічного видавлювання та ступінь використання ресурсу пластичності. Визначено оптимальне значення параметрів процесу з погляду забезпечення максимальної величини технологічної пластичності деталей при гідромеханічному видавлюванні.

Ключові слова: гідромеханічне видавлювання; моделювання; метод скінчених елементів; напружено-деформований стан; критерій руйнування; коефіцієнт використання; ступінь деформації; зусилля.

Рис.: 13. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Одним із передових методів удосконалення існуючої технології обробки металів тиском у холодному стані є застосування холодного пластичного гідропресування металів. Під час цього процесу, який проводиться при високому (1-2 ГПа) гідростатичному тиску, накладеному на осередок пластичної деформації заготовки, інструментальні сталі піддаються значним разовим деформаціям, які ефективно впливають на їхню структуру та фізико-механічні характеристики.

Ці деформації, у поєднанні з термомеханічною обробкою, відкривають нові можливості для підвищення стійкості різальних і штампувальних інструментів. Наприклад, фрези, свердла, мітчики, пуансони та розгортки, виготовлені методом холодного гідромеханічного видавлювання, демонструють стійкість у 4 рази вище, ніж інструменти, створені за традиційною технологією. Застосування холодного гідромеханічного видавлювання також дозволяє зменшити витрати на швидкорізальні сталі та значно підвищити продуктивність праці [1-5].

Цей процес також дозволяє зменшити зусилля, необхідне для виконання процесу холодного видавлювання, оскільки зменшується площа контакту інструменту й заготовки [6].

На сьогодні є роботи [7-11], у яких автори досліджують вплив процесу гідромеханічного видавлювання на мікроструктуру матеріалу. Визначаються оптимальні величини ступенів пластичної деформації заготовки для отримання необхідної мікроструктури матеріалу. При цьому досить мало інформації про те, як величина тиску рідини впливає на протікання цього процесу.

Постановка проблеми. Визначення оптимальних параметрів гідромеханічного видавлювання – тиску рідини, зусилля процесу, ступеня деформації необхідне для розробки ефективної технології виготовлення різальних і штампувальних інструментів на базі вказаного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пряме гідромеханічне видавлювання металів вже майже 100 років використовується для отримання різних металевих виробів, особливо тих, у яких необхідно отримати мікрозернисту мікроструктуру для досягнення високої міцності виробу [7].

При гідромеханічному видавлюванні за рахунок надвисокого всебічного тиску відбувається замикання мікрodefektів структури екструдованого матеріалу і його пластичність різко підвищується. За рахунок цього з'являється можливість отримувати профілі складної форми з малопластичних та крихких матеріалів, які не можна було обробляти видавлюванням жорстким пуансоном. Крім того, за рахунок деформації в умовах високого всебічного тиску покращується структура металів і сплавів, що обробляються [2].

Зміни мікроструктури обробленого матеріалу та відповідні зміни його властивостей залежать від параметрів процесу прямого гідромеханічного видавлювання, таких як, величина деформації та температура процесу, а також початковий стан поверхні матеріалу та вид використовуваного мастила. Правильним вибором параметрів процесу гідромеханічного видавлювання можна виконати його оптимізацію та модифікувати кінцеву структуру оброблюваного матеріалу для отримання бажаного кінцевого ефекту. Так, в роботах [7-8], розглянуто процес видавлювання заготовок із титанового сплаву ($Ti > 99,7\%$), встановлена оптимальна температура процесу – більш як $400\text{ }^\circ\text{C}$ [8], при якій процес протікає з достатнім запасом пластичності матеріалу та без суттєвих змін механічних властивостей матеріалу отриманої заготовки.

У роботі [9] розглянуто процес гідромеханічного видавлювання нержавіючої сталі 316L, вивчалася мікроструктура сталі та стан оксидної плівки, що захищає матеріал від корозії.

Сьогодні гідромеханічне видавлювання застосовується для отримання виробів із добре опрацьованою структурою зерна, орієнтованою по осі заготовки, що у ряді застосувань помітно покращує експлуатаційні властивості деталі. При цьому якість поверхні готового виробу відповідає шліфуванню [2].

Умови тертя, близькі до рідинного, різко знижують зношування матриць, забезпечуючи високу якість поверхні та точність виробу після видавлювання, що дозволяє виключити операцію калібрування [2; 12-13].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині недостатньо повно досліджено закономірності, особливості протікання та реалізації процесу гідромеханічного видавлювання як такого, що характеризується більшою стабільністю, ніж процес гідравлічного видавлювання [14-15].

Мета дослідження (статті). Підвищення ефективності процесів гідромеханічного видавлювання осесиметричних деталей шляхом визначення оптимальних параметрів процесу та розширення номенклатури осесиметричних виробів, які отримуються холодною пластичною формозміною.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 представлено розрахункові схеми процесу гідромеханічного видавлювання для деформування зі ступенями деформації 28,7 та 55,55 %.

Чисельні експерименти процесу гідромеханічного видавлювання проводяться з урахуванням тиску рідини, величина якого вибиралась з урахування межі текучості матеріалу заготовки. Межа текучості для матеріалу ШХ 15 σ_s становить 410 МПа.

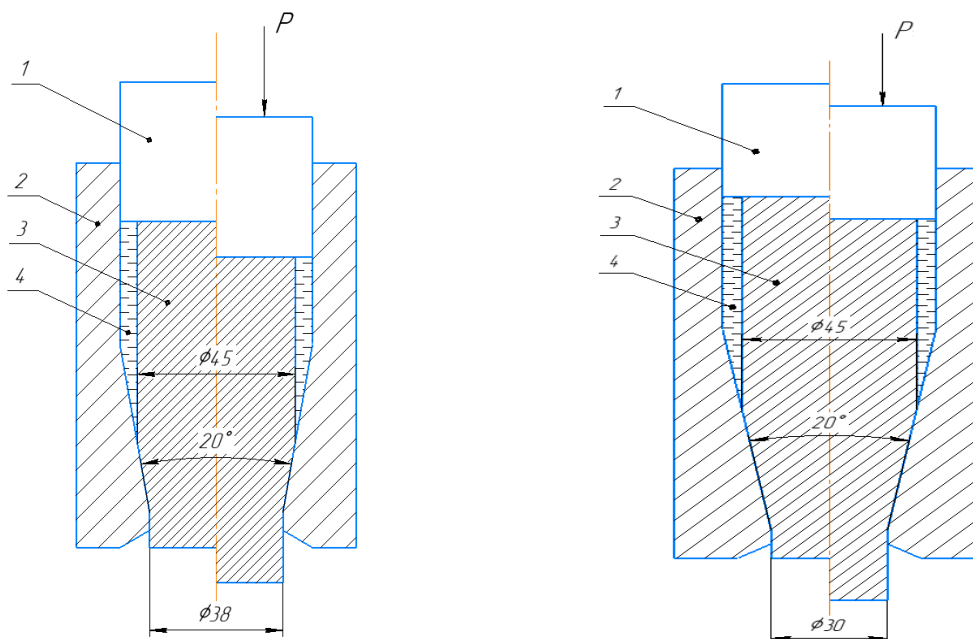


Рис. 1. Схема прямого видавлювання з протитиском рідини:
1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – рідина

Відповідно, величина тиску приймалася для трьох варіантів чисельного експерименту така:

$$P = 0,3 \cdot \sigma_s = 123 \text{ МПа};$$

$$P = 0,5 \cdot \sigma_s = 205 \text{ МПа};$$

$$P = 0,8 \cdot \sigma_s = 328 \text{ МПа}.$$

За допомогою програмного комплексу DEFORM 2D проведено моделювання процесу гідромеханічного видавлювання з вихідними даними:

- коефіцієнт тертя $\mu = 0,07$ (за Зібелем);
- швидкість переміщення інструменту 2 мм/с;
- матеріал DIN-100г6 аналог сталі ШХ15;
- кількість скінченних елементів сітки 1500;

У результаті проведення чисельного експерименту процесу гідромеханічного видавлювання зі ступенем деформації 28,69 % та тиском рідини 123 МПа отримано графік залежності зусилля процесу від переміщення пуансона (рис. 2). Максимальне зусилля, яке діє на пуансон під час гідромеханічного видавлювання, становить 651,2 кН.

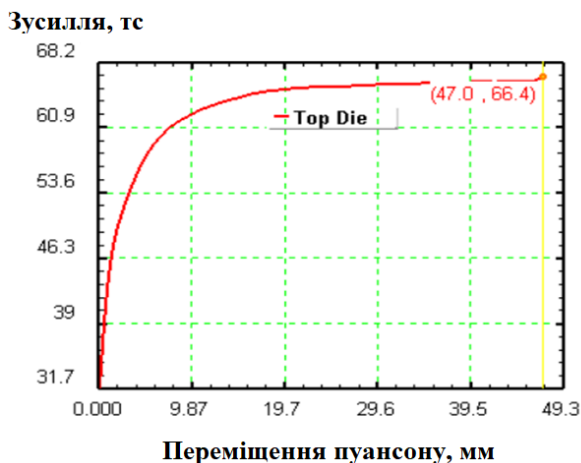


Рис. 2. Графік зусилля-переміщення при деформуванні

Розподіл параметрів напружено-деформованого стану (НДС) заготовки в процесі гідромеханічного видавлювання для вказаних вище параметрів наведено на рис. 3.

Значення інтенсивності деформації для гідромеханічного видавлювання знаходиться в діапазоні 0,121–0,424 (рис. 3, б). Ступінь використання ресурсу пластичності досягає 0,0951 (рис. 3, а), що забезпечує отримання якісного виробу. Значення нормального тиску на інструмент діє на торці пуансона та на конусі матриці становили 2530 МПа (рис. 3, г).

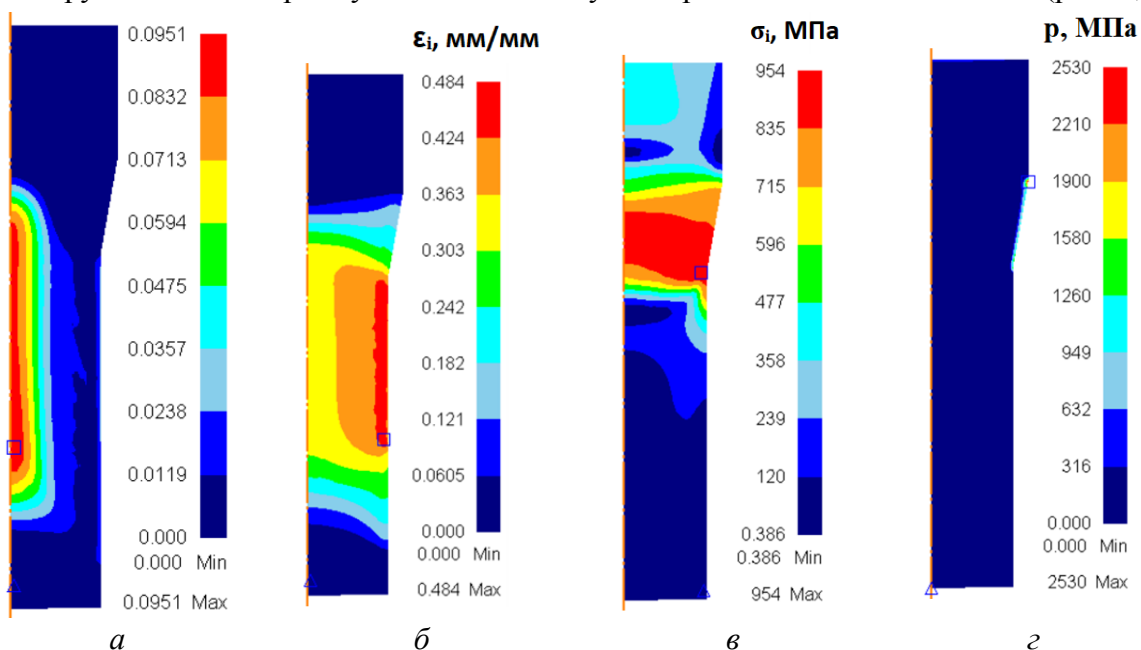


Рис. 3. Розподіл параметрів НДС:

а – ступінь використання ресурсу пластичності; б – інтенсивність деформації;
в – інтенсивність напружень; г – нормальний тиск на поверхні інструменту

Результати моделювання процесу гідромеханічного видавлювання з тиском рідини 205 МПа приведено нижче.

Максимальне зусилля яке діє на пуансон досягає 635,5 кН (рис. 4).

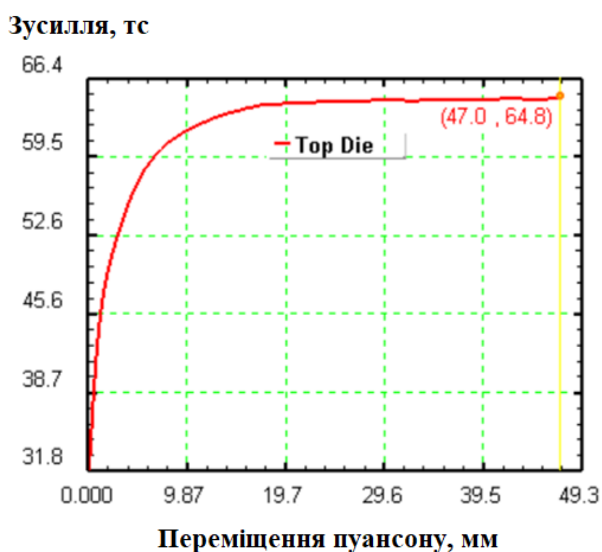


Рис. 4. Графік зусилля-переміщення при деформуванні

На (рис. 5) наведено отримані результати моделювання процесу гідромеханічного видавлювання.

Значення інтенсивності деформації гідромеханічного видавлювання знаходяться в діапазоні 0,120–0,419 (рис. 5, б). Ступінь використання ресурсу пластичності досягає 0,0960 (рис. 5, а), що не є критичним за даної схеми деформування. Значення нормального тиску на інструмент діє на торці пуансона та на конусі матриці, ці значення склали 2460 МПа (рис. 5, з).

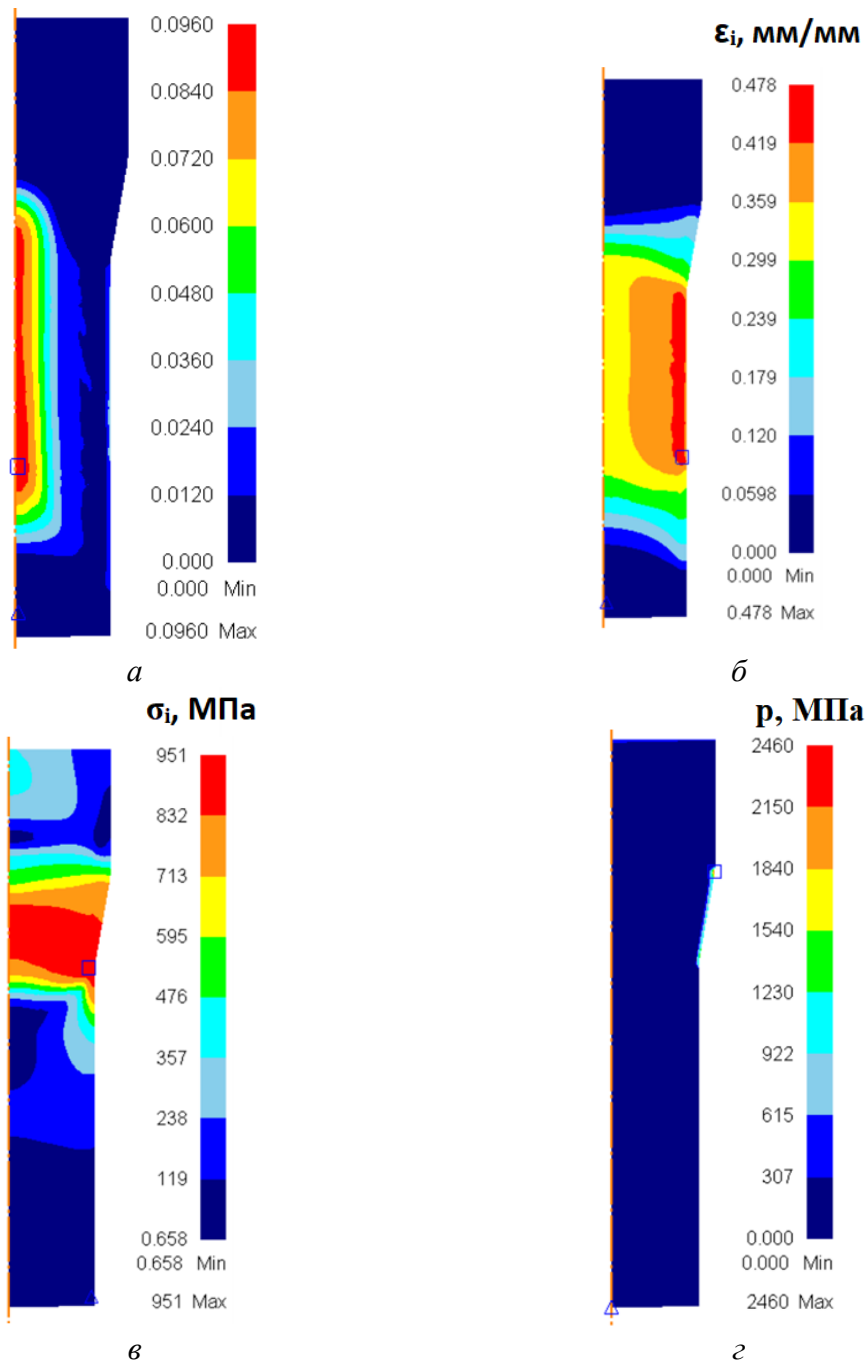


Рис. 5. Розподіл параметрів НДС:

а – ступінь використання ресурсу пластичності; б – інтенсивність деформації;
в – інтенсивність напружень; з – нормальний тиск на поверхні інструменту

Зусилля, яке діє на пуансон під час гідромеханічного видавлювання, досягає 611,9 кН, графік (рис. 6) зусилля-переміщення при деформуванні з тиском рідини 328 МПа.

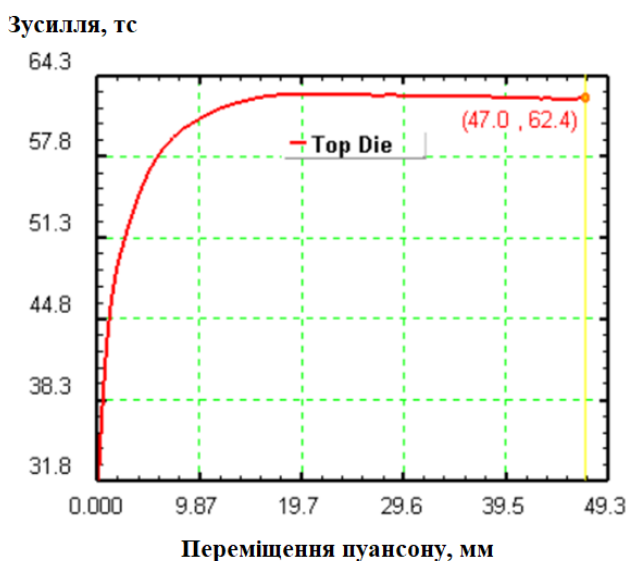


Рис. 6. Графік зусилля-переміщення при деформуванні

На (рис. 7-8) наведено отримані результати процесу гідромеханічного видавлювання.

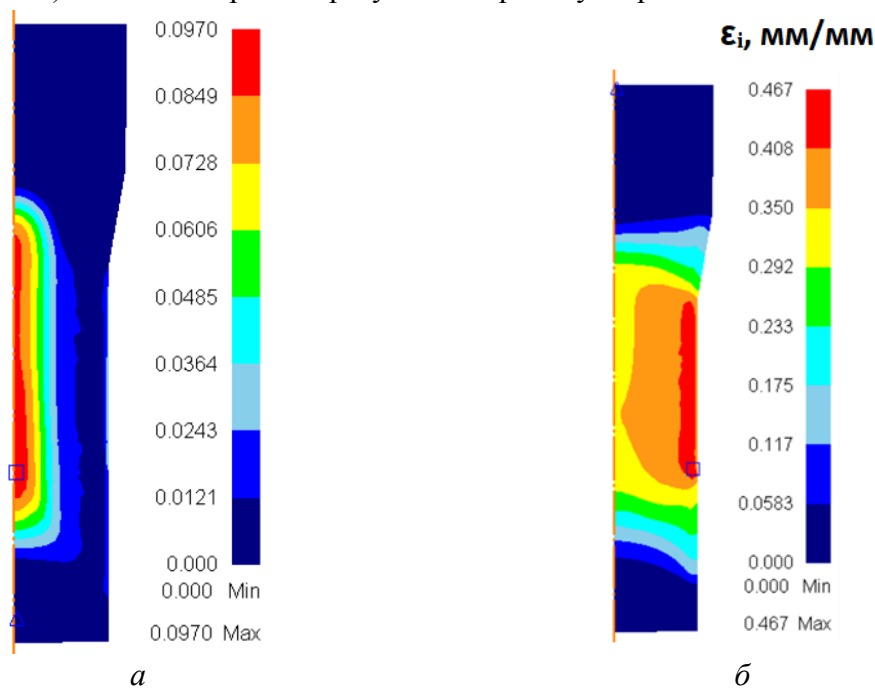


Рис. 7. Розподіл параметрів:

а – ступінь використання ресурсу пластичності; *б* – інтенсивність деформації

Результати моделювання показали, що значення інтенсивності деформації для гідромеханічного видавлювання знаходилось в діапазоні 0,117–0,408 (рис. 7, б). Ступінь використання ресурсу пластичності досягає 0,0970 (рис. 7, а), що не є критичним за даної схеми деформування. Значення нормального тиску на інструмент що діє на торці пуан-

сона та на конусі матриці, ці значення складо 2760 МПа (рис. 8, б). Такі результати можуть бути критичними для більшості штампових сталей та можуть призвести до руйнування робочого інструменту.

Результати моделювання процесу гідромеханічного видавлювання зі ступенем деформації 55,55 % та протитиском рідини 123 МПа наведено нижче.

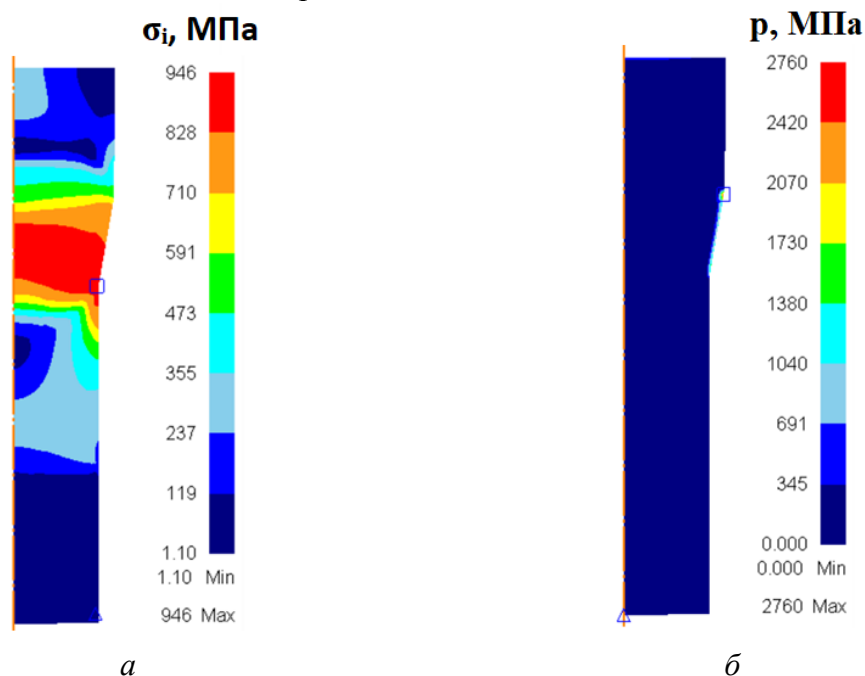


Рис. 8. Розподіл параметрів:

a – інтенсивність напружень; *б* – нормальний тиск на поверхні інструменту

Зусилля, яке діє на пуансон під час гідромеханічного видавлювання, досягає 3501 кН, графік (рис. 9) зусилля-переміщення при деформуванні.

Зусилля, тс

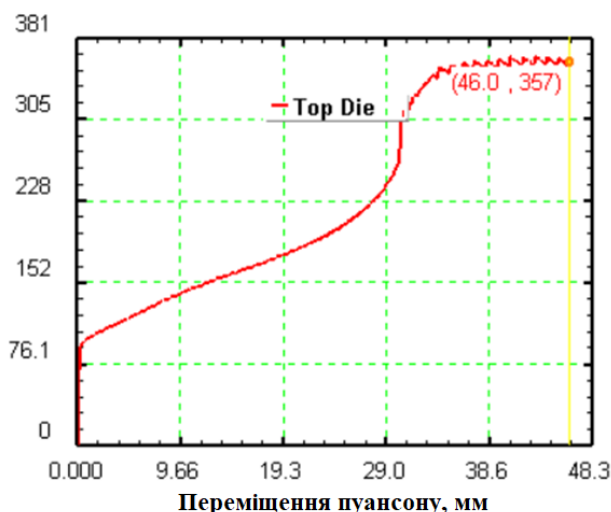


Рис. 9. Графік зусилля-переміщення при деформуванні

На (рис. 10) наведено отримані результати моделювання процесу гідромеханічного видавлювання.

Значення інтенсивності деформації знаходилися в діапазоні 0,708–0,944 (рис. 10, б). Ступінь використання ресурсу пластичності досягає 0,0331 (рис. 10, а), що не є критичним за даної схеми деформування. Значення нормального тиску на інструмент діє на торці пуансона та на конусі матриці, ці значення становило 2150 МПа (рис. 10, г).

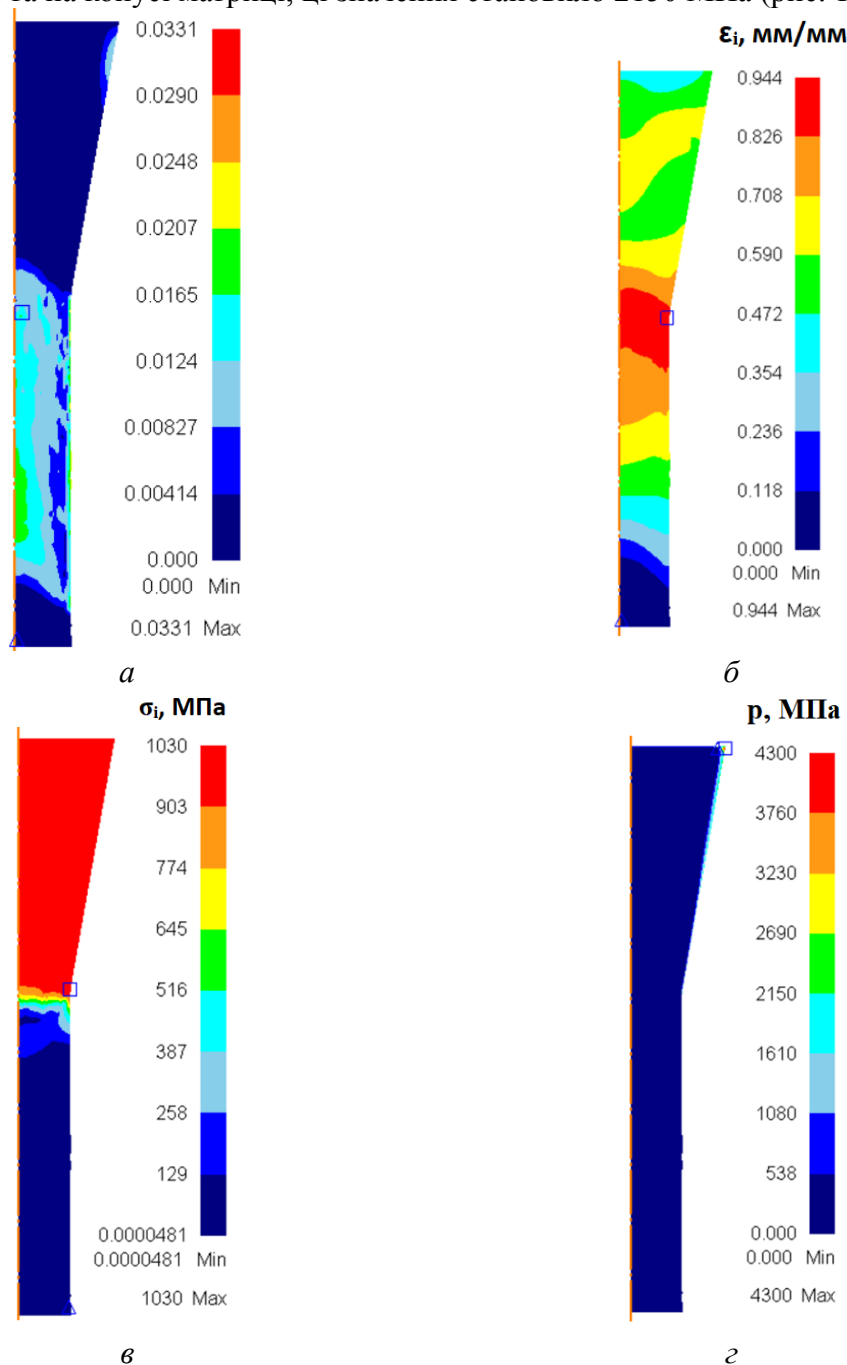


Рис. 10. Розподіл параметрів НДС:

а – ступінь використання ресурсу пластичності; б – інтенсивність деформації;
в – інтенсивність напружень; г – нормальний тиск на поверхні інструменту

При моделюванні процесу гідромеханічного видавлювання з протитиском 205 МПа зусилля, яке діє на пуансон під час гідромеханічного видавлювання, досягає 3491 кН (рис. 11).

Результати проведення чисельних експериментів показали, що значення ступеня використання ресурсу пластичності досягає 0,0326, що не є критичним за такою схемою деформування. Значення нормального тиску на інструмент діє на торці пуансона та на конусі матриці, ці значення становили 3230 МПа. Такі результати можуть бути критичними для більшості штампових сталей та можуть призвести до руйнування робочого інструменту.

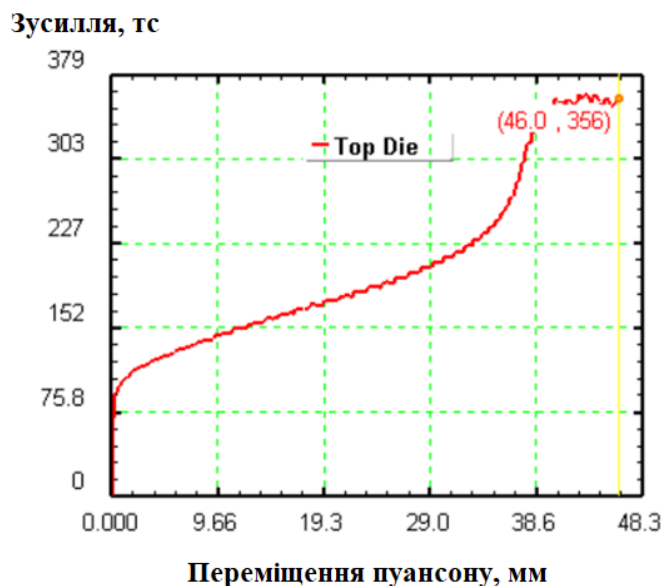


Рис. 11. Графік зусилля-переміщення при деформуванні

При моделюванні процесу гідромеханічного видавлювання з протитиском 328 МПа зусилля, яке діє на пуансон під час гідромеханічного видавлювання, досягає 1952 кН (рис. 12).

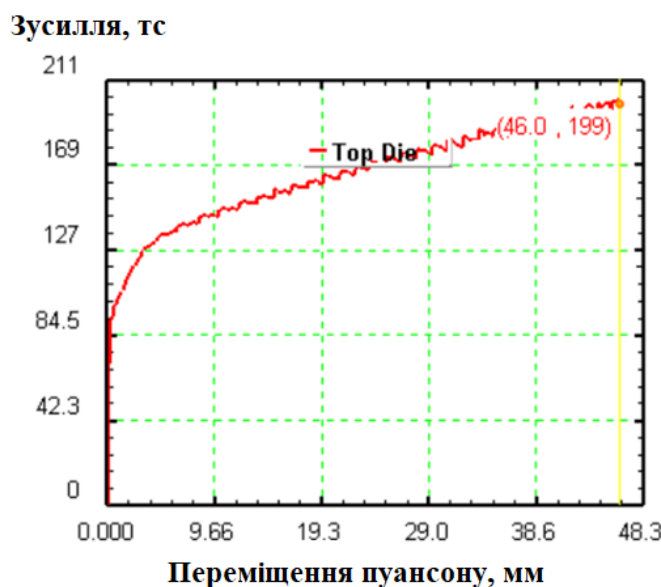


Рис. 12. Графік зусилля-переміщення при деформуванні

Результати чисельного моделювання показали, що значення інтенсивності деформації під час гідромеханічного видавлювання знаходиться в межах 0,225–0,901 (рис. 13, б). Ступінь використання ресурсу пластичності досягає 0,0362 (рис. 13, а), що не є критичним за такою схемою деформування. Значення нормального тиску на інструмент, що діє на торці пуансона та на конусі матриці, становило 2650 МПа (рис. 13, в).

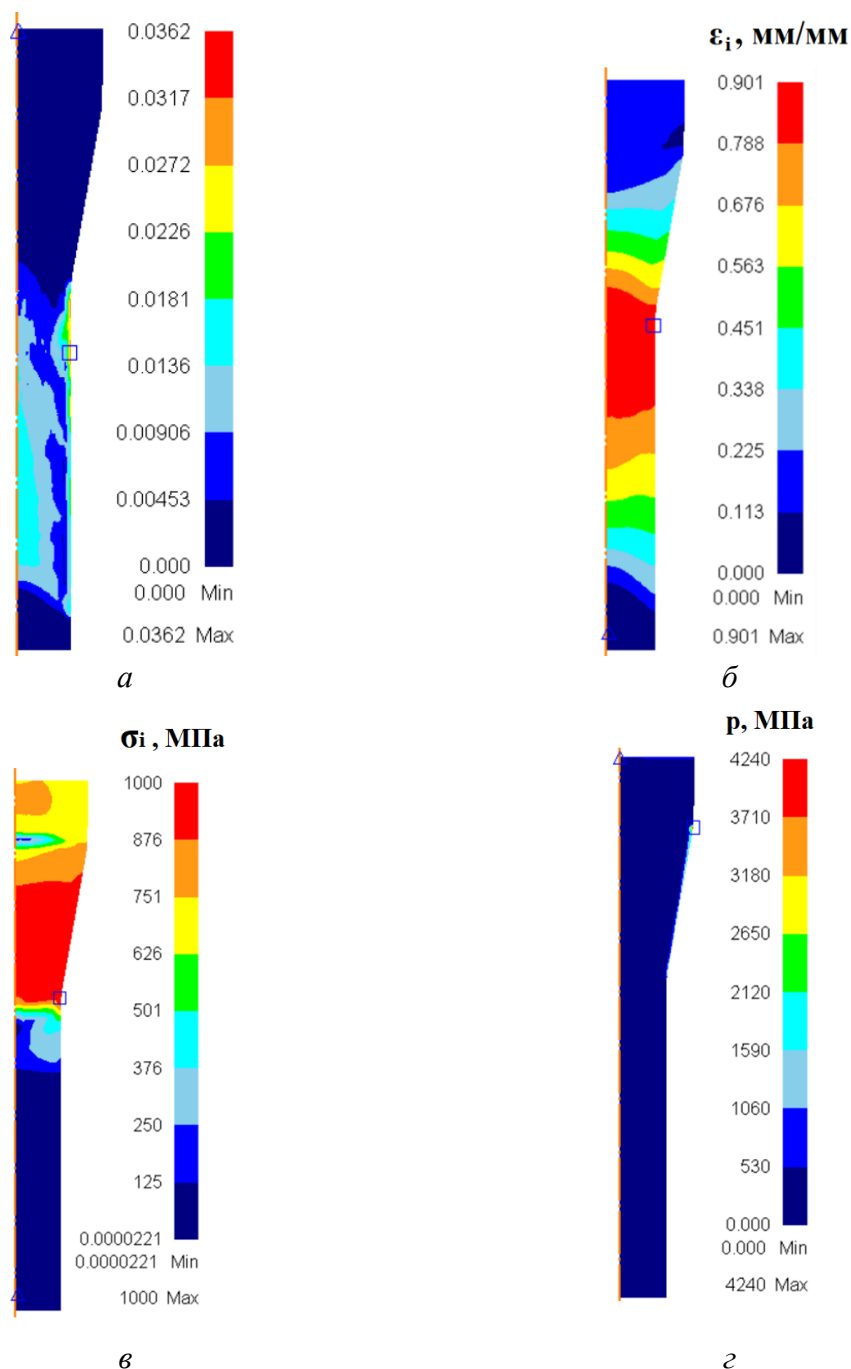


Рис. 13. Розподіл параметрів НДС:

a – ступінь використання ресурсу пластичності; *б* – інтенсивність деформації;
в – інтенсивність напружень; *г* – нормальний тиск на поверхні інструменту

Висновки: 1. Таким чином, застосування технології холодного гідромеханічного пресування дозволяє підвищити ряд механічних властивостей заготовок за рахунок зміцнення та подрібнення структури зерна матеріалу. Вироби, отримані таким способом, характеризуються підвищеною стійкістю матеріалу до зношення, що досить важливо для інструментальних сталей, до яких ставляться підвищені вимоги. Гідропресування також підвищує пластичність під час протікання процесу завдяки рідині, яка слугує протитиском та змащуванням для заготовки, що своєю чергою зменшує сили тертя та технологічне зусилля на інструмент.

2. Методом скінченних елементів з використанням програмного середовища Deform 2D створено та розраховано схеми гідромеханічного видавлювання з різними ступенями деформації та тиском рідини.

У процесі дослідження було проаналізовано вплив ступеня деформації та тиску рідини на напружено-деформований стан деформованої заготовки, визначено оптимальні величини тиску.

Таким чином, проведення моделювання процесу гідромеханічного видавлювання при різних величинах тиску рідини показало що:

а) збільшення тиску рідини зі 123 МПа до 338 МПа суттєво не впливає на величину ступеня використання ресурсу пластичності та повністю забезпечує отримання якісних деталей;

б) зі збільшенням тиску рідини зі 123 МПа до 338 МПа зусилля процесу (зусилля на пуансоні) зменшилося на 10 %;

в) найменші напруження на матриці (2460 МПа) спостерігалися при тиску рідини 205 МПа;

г) зі збільшенням ступеня деформації з $\varepsilon = 28,69\%$, до $\varepsilon = 55,55\%$ коефіцієнт використання ресурсу пластичності зменшився з 0,097 до 0,0362, що свідчить про те, що ефективність використання гідростатичного тиску зростає зі збільшенням ступеня деформації;

д) зі збільшенням ступеня деформації з $\varepsilon = 28,69\%$, до $\varepsilon = 55,55\%$ зусилля процесу для максимального протитиску рідини збільшилось майже втричі.

Список використаних джерел

1. Черный, Ю.Ф. Гидропрессование инструментальных сталей / Ю.Ф. Черный, В. З. Спусканюк, А. А. Лядская, А. И. Опанащук. – Киев: Техніка, 1987. – 216 с.
2. Луговской, В. М. Горячая и холодная обработка материалов жидкостью сверхвысокого давления / В. М. Луговской, Г. Д. Данилов // *Металлург*. – 2011. – №3. – С. 65-68. – Режим доступа: <http://www.elektron2000.com/article/1188.html>.
3. Ицкевич, Е. С. Физика высоких давлений / Е. С. Ицкевич // *Соросовский образовательный журнал*. – 1997. – №9. – С. 78-85.
4. Луговской, В. М. Гидростатическое уплотнение сверхвысоким давлением микро- и нанопорошков / В. М. Луговской, Р. Л. Шаталов, Г. Д. Данилов // *Производство проката*. – 2012. – № 6.
5. Луговской, В. М. Рабочие камеры для обработки материалов жидкостью сверхвысокого давления / В. М. Луговской // *Металлургия*. – 2010. – №11.
6. Yash Vishnu Sawant. An overview of hydrostatic extrusion process / Yash Vishnu Sawant, Rushikesh Raju Santre, Shahnawaz Khalil Shah // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. – 2022. – Vol. 9 (07). – С. 1454-1457.
7. Garbacz, H. Nanocrystalline Titanium / H. Garbacz, K. Topolski, M. Motyka. – Elsevier, 2019. – 253 с.
8. Topolski, K. Hydrostatic extrusion of titanium – process parameters / K. Topolski, H. Garbacz, W. Pachla, K. J. Kurzydłowski // *Advances in Materials Science*. – 2007. – Vol. 7. – № 4 (14). – С.114-120.
9. Ura-Binczyk, E. Effect of Grain Refinement on the Corrosion Resistance of 316L Stainless Steel / E. Ura-Binczyk // *Materials*. – 2021. – Vol. 14(24). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14247517>.
10. Skorupska, Monika. Structural Hierarchy of PA6 Macromolecules after Hydrostatic Extrusion / Monika Skorupska, Mariusz Kulczyk, Piotr Denis, Dominik Grzęda, Anna Czajka, Joanna Ryszkowska // *Materials*. – 2023. – Vol. 16(9). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16093435>.
11. Tomasz Majda. Influence of hydrostatic extrusion process on the microstructure and texture of polycrystalline nickel / Tomasz Majda, Dorota Moszczyńska, Joanna Zdunek, Mariusz Kulczyk, Jarosław Mizera, Krzysztof Jan Kurzydłowski // *Materials Science and Technology*. – 2017. – Vol. 33(17). – С. 2046-2052. DOI: <https://doi.org/10.1080/02670836.2017.1343263>.
12. Луговской, В. М. Автофритированные и двухслойные рабочие камеры для гидростатической обработки материалов / В. М. Луговской, Р. Л. Шаталов, Г. Д. Данилов // *Производство проката*. – 2011. – № 8.

13. О некоторых способах и устройствах для холодного гидростатического выдавливания формообразующих полостей штампов и пресс-форм / Ю. Ф. Черный, П. Е. Шмальц, Н. А. Шмальц, В. Л. Калюжний // Физика и техника высоких давлений. – 1982. – № 9. – С.14-18.

14. Колпашников, А.И. Гидропрессование металлов / А. И. Колпашников, В. А. Вялов – Москва : Metallurgia, 1973. – 296 с.

15. Уральский, В. И. Деформация металлов жидкостью высокого давления / В. И. Уральский, В. С. Плахотин, Н. И. Шефтель. – Москва : Metallurgia, 1977. – 424 с.

References

1. Cherniy, Y., Spuskanyuk, V., Lyadskaya, A., Opanaschuk, A. (1987). *Gidropressovanie instrumentalnykh staley [Hydropressing of tool steels]*. Tekhnika.

2. Luhovskoi, V., Danylov, H. (2011). Goriachaia i kholodnaia obrabotka materialov zhidkostiu sverkhvesokogo davleniia [Hot and cold forming of materials with ultra-high pressure liquid]. *Metallurh – Metallurgy*, 3, 65-68. <http://www.elektron2000.com/article/1188.html>.

3. Itskevych, E. (1997). Fizika vesokikh davlenii [Physics of high pressures]. *Sorosovskii obrazovatelnyi zhurnal – Soros Educational Journal*, 9, 78-85.

4. Luhovskoi, V., Shatalov, R., Danylov, H. (2012). Gidrostaticheskoe uplotnenie sverkhvysokim davleniem mikro- i nanoporoshkov [Hydrostatic compaction of micro- and nanopowders using ultra-high pressure]. *Proizvodstvo prokata – Rolled products production*, 6.

5. Luhovskoi, V., Danylov, H. (2010). Rabochie kamery dlia obrabotki materialov zhidkostiu sverkhvysokogo davleniia [Working chambers for processing materials with ultra-high pressure liquid]. *Metallurh – Metallurgy*, 11.

6. Sawant, Y. V., Santre, R. R., Shah, S. K. (2022). An overview of hydrostatic extrusion process. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 9(07), 1454-1457.

7. Garbacz, H., Topolski, K., Motyka, M. (2019). *Nanocrystalline Titanium*. Elsevier.

8. Topolski, K., Garbacz, H., Pachla, W., Kurzydłowski, K. J. (2007). Hydrostatic extrusion of titanium – process parameters. *Advances in Materials Science*, 7, 4 (14), 114-120.

9. Ura-Binczyk, E. (2021). Effect of Grain Refinement on the Corrosion Resistance of 316L Stainless Steel. *Materials*, 14(24).

10. Skorupska, M., Kulczyk, M., Denis, P., Grzęda, D., Czajka, A., Ryszkowska, J. (2023). Structural Hierarchy of PA6 Macromolecules after Hydrostatic Extrusion. *Materials*, 16(9), 3435. <https://doi.org/10.3390/ma16093435>

11. Majda, T., Moszczyńska, D., Zdunek, J., Kulczyk, M., Mizera, J., Kurzydłowski, K. J. (2017). Influence of hydrostatic extrusion process on the microstructure and texture of polycrystalline nickel. *Materials Science and Technology*, 33(17), 2046-2052. <https://doi.org/10.1080/02670836.2017.1343263>.

12. Luhovskoi, V., Shatalov, R., Danylov, H. (2011). Avtofritirovannye y dvukhsloinye rabochie kamery dlia gidrostaticheskoi obrabotki materialov [Autofretting and double-layer working chambers for hydrostatic processing of materials]. *Proizvodstvo prokata – Rolled products production*, 8.

13. Cherniy, Y., Shmalts, P., Shmalts, N., Kalyuzhnyi, V. (1982). О некоторых способах и устройствах для холодного гидростатического выдавливания формообразующих полостей штампов и пресс-форм [About some methods and devices for cold hydrostatic extrusion of form-building cavities of dies and molds]. *Fizika i tekhnika vysokikh davlenii – Physics and high pressure technology*, 9, 14-18.

14. Kolpashnikov A., Vyalov, V. (1973). *Gidropressovanie metallov [Hydropressing of metals]*. Metallurgiiia.

15. Uralskiy, V., Plahotin, V., Sheftel, N. (1977). *Deformatsiia metallov zhidkostiu vysokogo davleniia [Deformation of metals by high pressure liquid]*. Metallurgiiia.

Отримано 14.05.2024

**Serhii Sabol¹, Olha Kholiavik², Yurii Borodii³,
Pavlo Protsenko⁴, Valerii Pimanov⁵, Heorhii Kompaniiets⁶**

¹ PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sabol1@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-8585-508X>

² PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: o.holiavik@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6539-4467>

³ PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: borodiyurii@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8050-0379>

⁴ PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Department of machine design National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: pavloprocenko64@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9390-0718>

⁵ PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Technology of aircraft production National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: pimanov@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6609-6904>

⁶ student

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: gora272002@gmail.com

INFLUENCE OF LIQUID PRESSURE ON THE TECHNOLOGICAL PLASTICITY OF METAL UNDER DIRECT HYDROMECHANICAL EXTRUSION OF VISESIMETRIC PRODUCTS

In the process of cold plastic hydromechanical extrusion of metals, which is carried out at high (1-2 GPa) hydrostatic pressure applied to the focus of plastic deformation of the workpiece, tool steels undergo significant deformations that effectively affect their structure and physical and mechanical characteristics. These deformations, in combination with thermomechanical processing, open up new possibilities for increasing the stability of cutting and stamping tools. For example, cutters, drills, taps, punches and reamers made by the method of cold hydromechanical extrusion demonstrate stability 4 times higher than tools created by traditional techno.

The mechanical properties of the workpieces increase due to the strengthening and refinement of the grain structure of the material. Hydromechanical extrusion also increases plasticity during the process due to the liquid, which serves as back pressure and lubricant for the workpiece, which in turn reduces frictional forces and technological forces on the tool.

The paper presents the results of numerical experiments on modelling the process of cold hydromechanical extrusion using the finite element method using the Deform software complex. The modelling was carried out to determine the influence of the main parameters of extrusion (fluid pressure, degree of deformation, boundary conditions) on the stress-strain state of the workpiece, the force of hydromechanical extrusion and the degree of use of the plasticity resource.

The optimal value of the process parameters was determined from the point of view of ensuring the maximum amount of technological plasticity of parts during hydromechanical extrusion.

Keywords: hydromechanical extrusion; modelling; finite element method; stress-strain state; failure criterion; utilization factor; degree of deformation; pressing force.

Fig.: 13. References: 15.