

Встановлюють заготовку 1 в рухомій матриці 2 на виштовхувач 3. Деформування заготовки здійснюється пуансоном 4. В процесі видавлювання матрицю 2 будуть переміщувати вниз з різною швидкістю. Якщо кінцевий виріб 5 залишиться в матриці після виймання пуансона, то за допомогою виштовхувача 3 його видалення здійснюють з поверненням матриці 2 у початкове положення. У випадку коли виріб залишиться на пуансоні 4, то знімання виробу можна здійснити за допомогою кільця, яке пов'язане з нижньою плитою штампа.

В табл. 1 наведено виконавчі розміри пуансону, матриці та швидкості їхнього руху, вплив яких, буде досліджено в даній роботі, на температуру заготовки при зворотному холодному видавлюванні з роздачою.

Таблиця 1

Виконавчі розміри інструменту та заготовки для чисельних експериментів

D_m	50 мм	50 мм
D_p	25 мм	30 мм
H_o	50 мм	50 мм
D_o	40мм	40мм
$\gamma = \lambda$	30°	30°

Розміри торця конусного пуансона для зворотного холодного видавлювання з роздачою мали незмінні наступні розміри: $\alpha = 7^\circ$, $r = 2$ мм, $z = z_1 = 0,15$ мм, $\alpha = 5^\circ$, $l = 2$ мм. Матриця для зворотного холодного видавлювання з роздачою мала незмінний розмір: $h_m = 6$ мм.

Необхідно визначити температуру заготовки, закономірності зміни силових режимів та кінцеву геометрію виробу.

Швидкості руху робочого інструменту (пуансону V_n та матриці V_m) зведено в табл. 2.

Таблиця 2

Швидкості руху робочого інструменту

V_n , мм/с	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7
V_m , мм/с	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7

На рис. 2 показані теоретичні залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансону для різних швидкостей руху пуансону для початкового положення заготовки $h = 5$ мм, матриця в цьому випадку рухається з постійною швидкістю 2 мм/с.

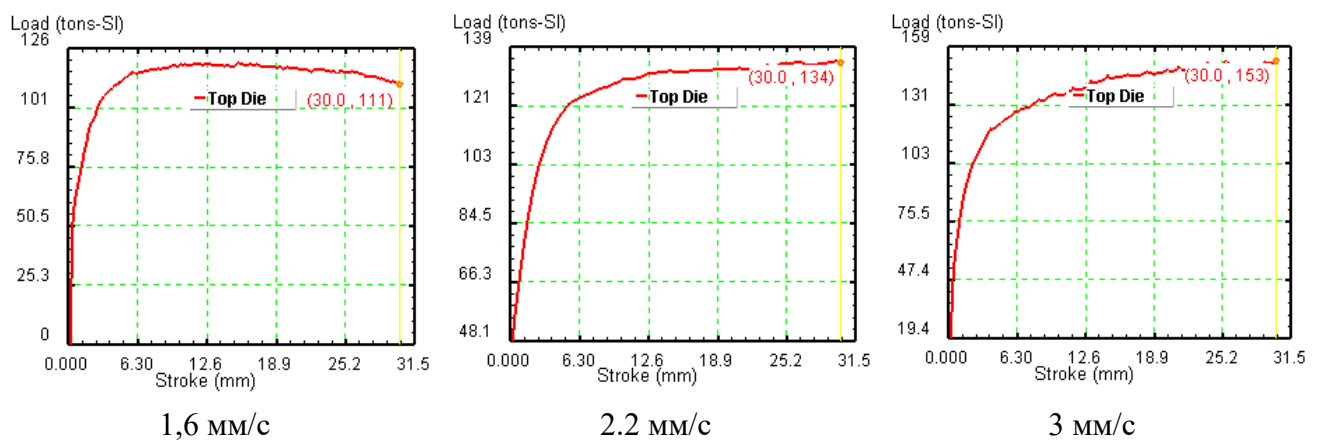


Рис. 2. Залежності зусилля видавлювання від швидкості пуансону

При збільшенні швидкості пуансону, спостерігається збільшення загального зусилля видавлювання. При збільшенні швидкості руху пуансону більше ніж 50 % ($D_p = 30$ мм) спостерігається різке підвищення зусилля деформування. Максимального значення зусилля досягається при $V_n = 7$ мм/с та склало 1700 кН.

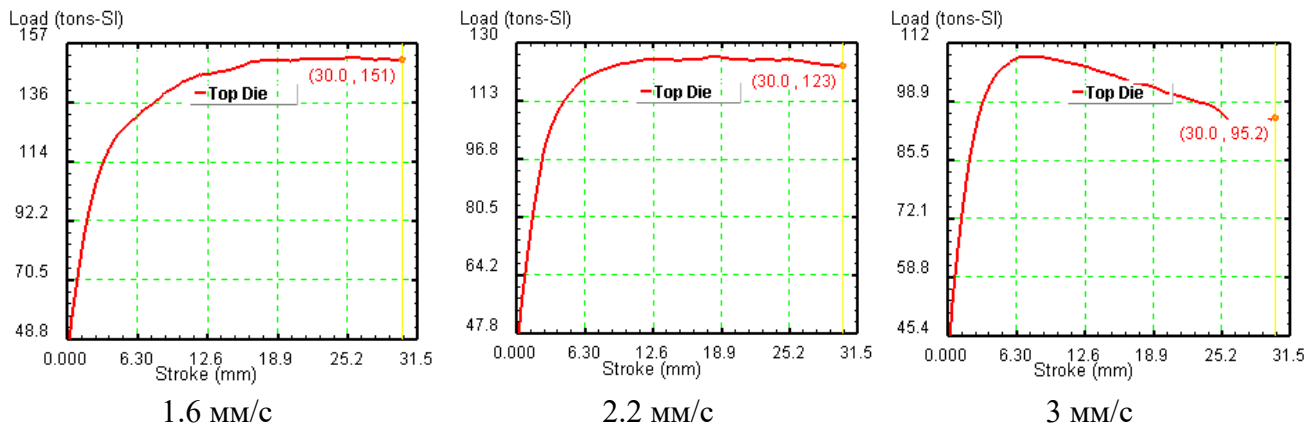


Рис. 3. Залежності зусилля видавлювання від швидкості матриці

При збільшенні швидкості матриці, спостерігається зменшення загального зусилля видавлювання при постійній швидкості пуансону 2 мм/с. Залежність максимального зусилля видавлювання з роздачою в залежності від швидкості руху пуансону та матриці представлено на рис. 4 (а-в залежності від швидкості руху пуансону, б – в залежності від швидкості руху матриці).

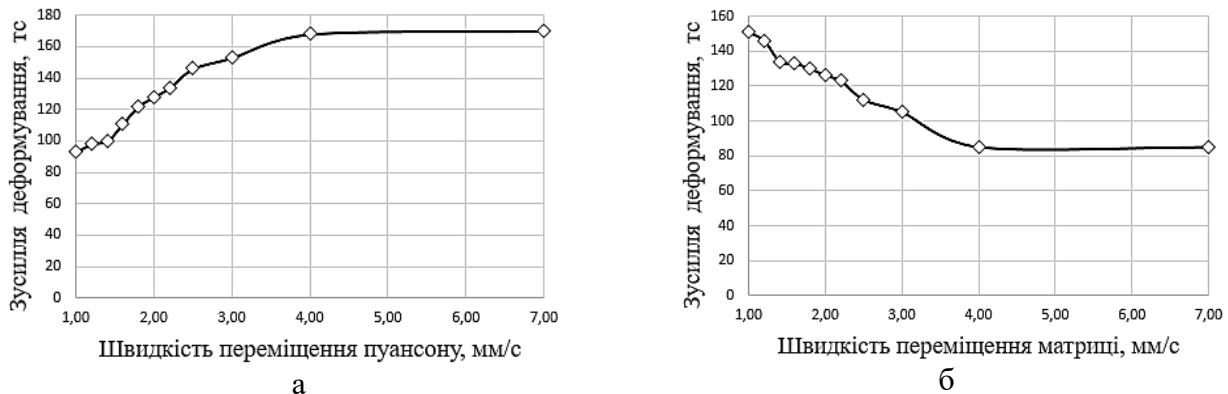


Рис. 4. Залежність максимального зусилля деформування від різних швидкостей руху: а – пуансону; б – матриці

Визначивши зусилля процесу зворотного холодного видавлювання порожнини з роздачою ми маємо можливість вибрати необхідне технологічне обладнання по номінальному зусиллю.

Розподіл температури показано на рис. 5. Зростання швидкості руху пуансону призводить до збільшення температури в осередку деформації майже на 300 °С. Максимальна температура в осередку деформації складає 395 °С, а стінка виробу розігрівається до 250 °С при швидкості руху пуансона 7 м/с. при проектуванні технологічних процесів необхідно врахувати таке явище тому що, при серійному та крупносерійному виробництві це призводить до суттєвого розігріву робочого інструменту. В свою чергу це зменшує стійкість пуансону, а також до зміни розмірів порожнини за рахунок температурного розширення пуансону [8]. В таких випадках треба передбачати охолодження робочого інструменту за допомогою вентиляторів або охолоджуючою рідиною, що має подаватися в канали в середині пуансону.

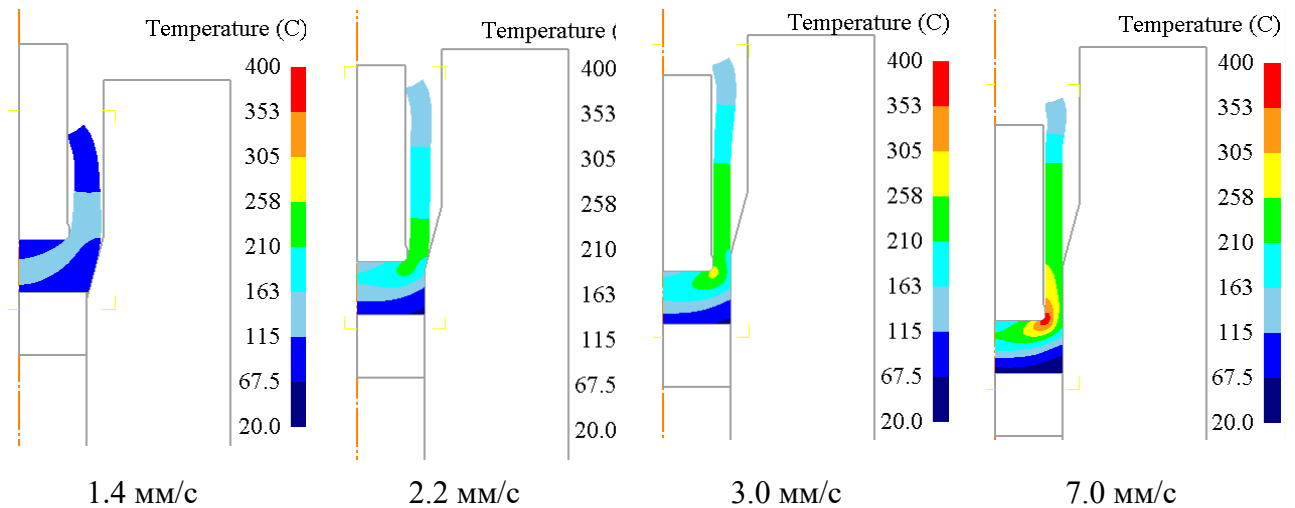


Рис. 5. Розподіл температури по об'єму заготовки при різних швидкості пуансону

Результати дослідження впливу швидкості матриці при незмінній швидкості пуансону на температуру заготовки показано на рис. 6. Зростання швидкості руху матриці, при постійній швидкості пуансону 2 мм/с, призводить до зменшення температури в осередку деформації майже на 100 °С. Підвищення швидкості руху матриці не має такого значного впливу на розігрів кінцевого виробу. Збільшення відносної швидкості $V_e = V_M/V_n$ більше ніж 2 призводить до радикальної зміни течії матеріалу.

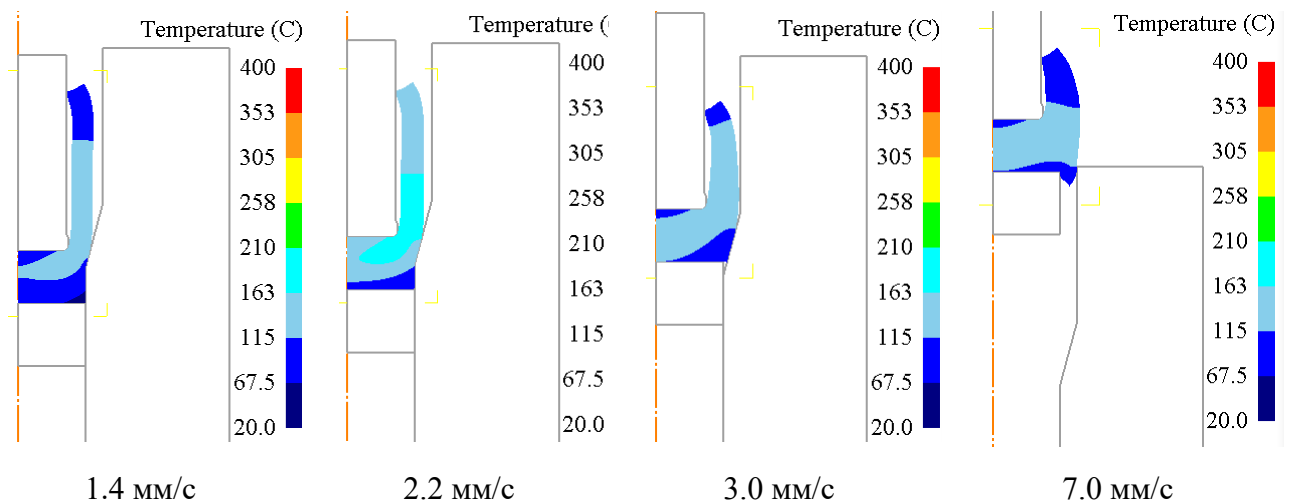


Рис. 6. Розподіл температури по об'єму заготовки при різних швидкості матриці

На рис.7 наведено залежності максимальної температури виробу від швидкості руху робочого інструменту. Як було сказано, максимальна температура 395 °С спостерігається при швидкості 7 мм/с. Збільшення швидкості пуансону в межах від 2 мм/с до 4 мм/с температура в осередку деформації збільшується майже в 2 рази – з 190 °С до 360 °С. Вплив швидкості матриці на температуру заготовки має інший характер - максимальна температура 225 °С спостерігається при швидкості руху матриці 1.8–2 мм/с. Подальше збільшення швидкості не призводить до розігріву заготовки та відповідно робочого інструменту.

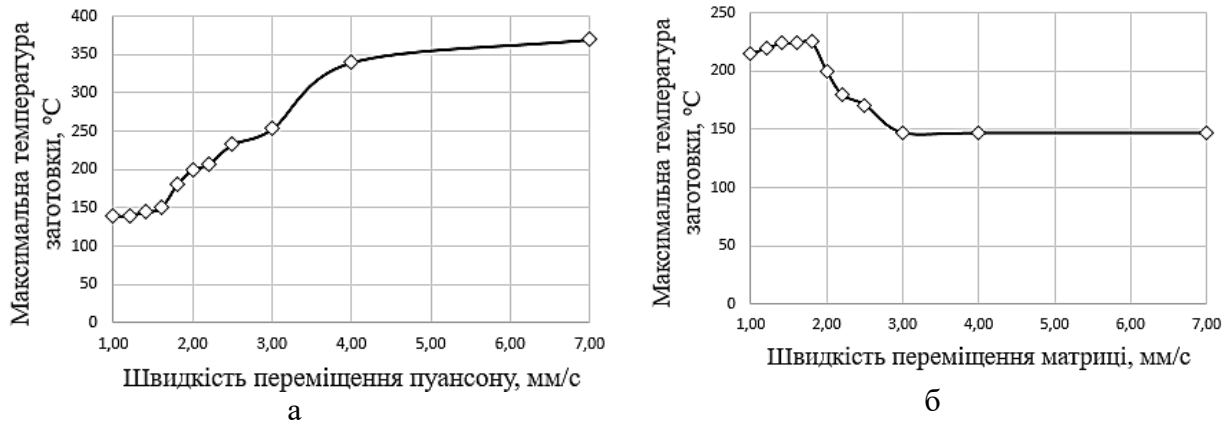


Рис. 7. Залежність максимальної температури заготовки в осередку деформування від різних швидкостей руху:
а – пуансону; б – матриці

Залежність температури від відносної швидкості $V_e = 1$ для різної швидкості матриці та пуансону представлено на рис. 8. Як видно збільшення швидкості робочого інструменту призводить до значного підвищення температури заготовки до 400 °C, що потребує наявності додаткових заходів для охолодження робочого інструменту при розробці технологічних процесів. Тоді як при малих швидкостях (до 2 мм/с) максимальна температура в осередку деформації не перевищує 210 °C.

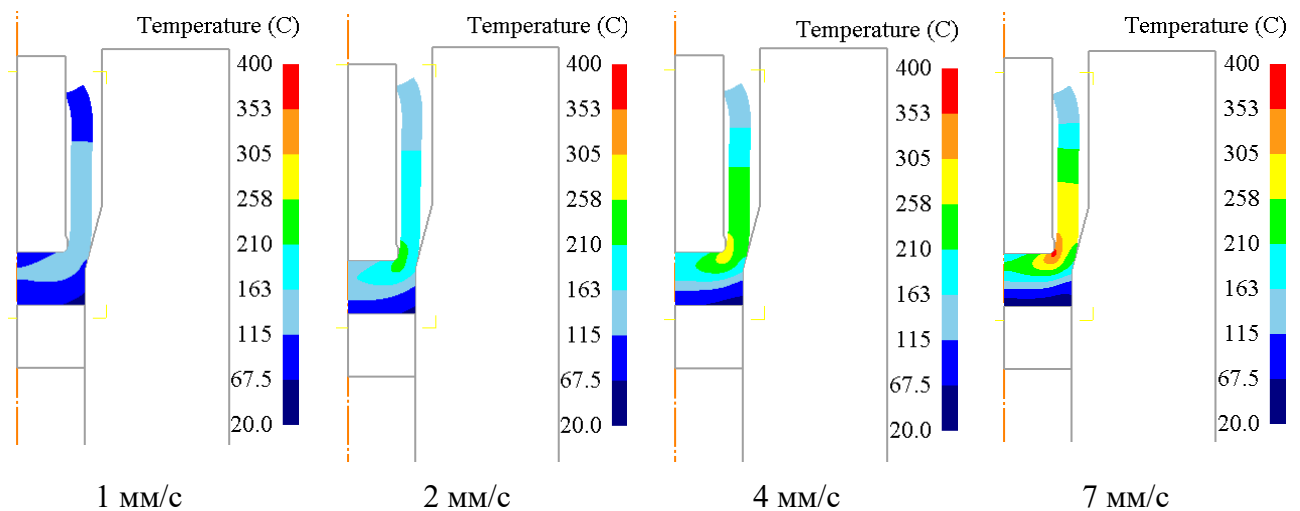


Рис. 8. Розподіл температури по об'єму заготовки при відносній швидкості $V_e = 1$

ВИСНОВКИ

В статті наведено результати проведених чисельних експериментів з використанням методу скінченних елементів в програмному комплексі DEFORM 3D з дослідження процесу холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів з роздачою. Визначено силові режими та отримані закономірності розподілу температури в об'ємі заготовки. Визначено теоретичним шляхом залежність максимальної температури від швидкості робочого інструменту (пуансону та матриці), розглянуто вплив співвідношення цих швидкостей на температуру заготовки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Холодная объемная штамповка. Справочник. Под ред. Г. А. Навроцкого. Москва: Машиностроение, 1973. 496 с.
2. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х т. Т. 3. Холодная объемная штамповка. Под ред. Г. А. Навроцкого. Москва: Машиностроение, 1987. 384 с.
3. Алиева Л. И., Чучин О. В., Гнездилов П. В. Способы снижения сил деформирования при холодном выдавливании. *Вісник ХНТУ серія Інженерні науки*. 2016. 1 (56). С. 18–25.
4. Алиев И. С., Чучин О. В., Носаков А. А. Технологические процессы выдавливания с раздачей. *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*. Краматорськ: ДДМА, 2003. С. 328-334.
5. Потятиник А. М., Горноста́й В. М., Сабол С. Ф. Аналіз впливу параметрів процесу холодного зворотнього видавлювання порожнистих виробів з роздачею. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків. 2017. 37 (1259). С. 66–71.
6. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. 2-е изд. Москва: Металлургия, 1973. 224 с.
7. Deform-3D – мощная система моделирования технологических процессов DOI: <http://www.thesis.com.ru/software/deform>.
8. Горноста́й В. М., Сабол С. Ф., Потятиник А. М. Тепловий ефект при холодному видавлюванні порожнистих виробів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків, 2016. 30 (1202). С. 26–32.

REFERENCES

1. Cold Stamping: Handbook. Ed. G.A. Navrocky. Moscow: Mechanical Engineering, 1973. 496 p. (in Russian).
2. Forging and stamping: Handbook. In 4 vols. v. 3. Cold forging. Ed. G. A. Navrocky. Moscow: Mechanical Engineering, 1987. 384 p. (in Russian).
3. Aliieva L.I., Chuchin O.V., Gnezdilov P.V. Methods for reducing deformation forces during cold extrusion. *Bulletin of KhNTU*. 2016. 1 (56), pp. 18-25. (in Russian).
4. Aliiev I.S., Chuchin O.V., Nosakov A.A. Technological processes of extrusion with. *Improving the processes and equipment of working by pressure in mechanical engineering and metallurgy*. Kramatorsk: DSEA. 2003, pp. 328-334. (in Russian).
5. Potyatnik A.M., Gornostay V.M., Sabol S.F. Analysis of the inflow of parameters in the process of cold vomiting of empty parts with distribution. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Kharkiv. 2017. 37 (1259), pp. 66-71. (in Ukrainian).
6. Tretyakov A.V., Zyuzin V.I. Mechanical properties of metals and alloys during pressure treatment. Moscow: Metallurgy. 1973. 224 p. (in Russian).
7. Deform-3D – a powerful system for modeling technological processes DOI: <http://www.thesis.com.ru/software/deform> (in Russian).
8. Gornostay V.M., Sabol S.F., Potyatnik A.M. Ermine VM Thermal effect in cold weather of empty virobes. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Kharkiv. 2016. 30 (1202), pp. 26–32. (in Ukrainian).

Горноста́й В. М. – канд. техн. наук, доцент НТУУ «КПІ»;
E-mail: w.gornostay@kpi.ua.

Ситник С. В. – студент НТУУ «КПІ».

Кисіль Д. І. – студент НТУУ «КПІ»;
E-mail: gornwad@ukr.net.

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2019 р.