

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Механіко-машинобудівний інститут

Технологія виробництва літальних апаратів

«На правах рукопису»
УДК 621.777.4

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

Тітов В.А.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2019р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(код і назва)

на тему: Визначення впливу швидкості деформування на параметри
зворотного видавлювання з роздачою

Виконав: студент 6 курсу, групи МД-83мп
(шифр групи)

В'язовський Євгеній Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник: доц.,к.т.н., Горностай Вадим Миколайович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) механіко-машинобудівний
(повна назва)

Кафедра Технологія виробництва літальний апаратів
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
В'язовському Євгенію Юрійовичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Визначення впливу швидкості деформування на
параметри зворотного видавлювання з роздачою _____,

Керівник дисертації доц.,к.т.н., Горностай Вадим Миколайович _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 31 » 10 2019 р. №3800-с

2. Термін подання студентом дисертації 13 грудня 2019

3. Об'єкт дослідження процес холодного зворотного видавлювання
порожнистих виробів з різною швидкістю деформування _____

4. Предмет дослідження особливості та закономірності холодного
видавлювання профілів з роздачою при різних швидкостях деформування _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити виконання чисельне моделювання процесу холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів з різною швидкістю деформування в системі CAD/CAE DEFORM 3D, визначити силові режими та напружено-деформований стан та кінцеву геометрію виробу

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу до 20 слайдів _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 стаття, 1 тези. _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі 87 сторінок, в тексті наведено 97 рисунків, 7 таблиць. В даній роботі використано 23 найменування бібліографічних посилань.

Метою роботи є визначення впливу швидкості деформування на процеси зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою на такі параметри процесу: силові режими, напружено – деформований стан, кінцеву геометрію виробу, температуру кінцевого виробу та ступінь використання ресурсу пластичності.

В магістерській дисертаційній роботі були вирішені наступні задачі:

1. Здійснено аналітичний огляд публікацій в яких розглядаються процеси зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою. Оскільки використання схеми видавлювання з рухомою матрицею (напрямок руху матриці співпадає з напрямком руху пуансона) дозволяє знизити питомі напруження до 30% але відсутні данні по співвідношенню швидкостей руху матриці та пуансону обираємо для дослідження цей напрям;
2. Основними напрямками досліджень для цієї схеми було обрано визначення закономірностей впливу швидкості переміщення матриці та пуансону;
3. З використанням систем CAD/CAE DEFORM 2D і 3D виконано чисельне моделювання процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою, встановлено що збільшення швидкості пуансону призводить до значного зростання температури кінцевого виробу, матеріал інтенсивно витікає в стінку виробу;
4. Розроблені рекомендації щодо співвідношення швидкостей робочого інструменту.

Ключові слова: зворотне холодне видавлювання з роздачою, порожнисті вироби, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, силові режими, температурний ефект, ступінь використання ресурсу пластичності, кінцева геометрія виробу.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация состоит из 87 страниц, в тексте приведены 97 рисунков, 7 таблиц. В данной работе использованы 23 наименования библиографических ссылок.

Целью работы является определение влияния скорости деформирования на процессы обратного холодного выдавливания изделий из раздач на такие параметры процесса: силовые режимы, напряженно - деформированное состояние, конечную геометрию изделия, температуру конечного изделия и степень использования ресурса пластичности.

В диссертационной работе были решены следующие задачи:

1. Осуществлен аналитический обзор публикаций в которых рассматриваются процессы обратного холодного выдавливания изделий из раздач. Поскольку использование схемы выдавливания с подвижной матрицей (направление движения матрицы совпадает с направлением движения пуансона) позволяет снизить удельные напряжения до 30%, но отсутствуют данные по соотношению скоростей движения матрицы и пуансона выбираем для исследования это направление;

2. Основными направлениями исследований для этой схемы была выбрана определения закономерностей влияния скорости перемещения матрицы и пуансона;

3. С использованием систем CAD / CAE DEFORM 2D и 3D выполнено численное моделирование процесса обратного холодного выдавливания изделий из раздач, установлена;

4. Разработаны рекомендации по соотношению скоростей рабочего инструмента.

Ключевые слова: обратное холодное выдавливание с раздачей, полые изделия, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, силовые режимы, температурный эффект, степень использования ресурса пластичности, геометрия изделия

ESSAY

The master's thesis consists of 87 pages, the text contains 97 drawings, 7 tables. This work uses 23 bibliographic references.

The purpose of this work is to determine the effect of deformation rate on the processes of reverse cold extrusion of hollow articles with distribution to the following process parameters: force modes, stress - strain state, finite geometry of the product, temperature of the finished product and the degree of plasticity resource use.

The following problems were solved in the dissertation:

1. An analytical review of publications examining the processes of reverse cold extrusion of hollow articles with distribution is carried out. Since the use of a displacement scheme with a moving matrix (the direction of motion of the matrix coincides with the direction of movement of the punch) allows to reduce the specific stresses up to 30%, but there is no data on the ratio of the speeds of motion of the matrix and the punch we choose to study this direction;
2. The main areas of research for this scheme were chosen to determine patterns of influence of the speed of movement of the matrix and the punch;
3. Using CAD / CAE DEFORM 2D and 3D systems, numerical simulation of the process of reverse cold extrusion of hollow articles with distribution was performed;
4. Recommendations on the speed ratio of the working tool.

Keywords: reverse cold extrusion with distribution, hollow products, finite element method, stress-strain state, force modes, temperature effect, degree of plasticity resource utilization, finite geometry of the product

ЗМІСТ

	ВСТУП.....
1.	АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОЦЕСІВ ЗВОРОТНОГО ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З РОЗДАЧОЮ.....
1.1.	Способи зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою.....
1.2.	Теоретичні та експериментальні дослідження процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою.....
2.	ПОСТАНОВКА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....
3.	РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....
3.1.	Вплив швидкості матриці на параметри процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою.....
3.2.	Вплив швидкості пуансона на параметри процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою.....
4.	РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИБОРУ СПІВІДНОШЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ.....
	ВИСНОВКИ.....
	ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ВСТУП

Актуальність роботи. В багатьох галузях промисловості використовуються процеси отримання порожнистих виробів холодним об'ємним штампуванням, але наявність великих питомих напружень на інструменті гальмує його широке розповсюдження. Це суттєво зменшує стійкість робочого інструменту та відповідно збільшує загальну вартість кінцевого виробу. Для виготовлення точних порожнистих виробів із кольорових металів та сталей широко використовують холодне видавлювання, такі як пряме, зворотне та інші нові способи. Порівняльний аналіз цих способів показує, що найбільш перспективний спосіб отримання виробів холодним видавлюванням є зворотне холодне видавлювання з роздачою. Якщо класичні методи отримання порожнистих виробів вже досить всебічно вивчені, то нові способи, наприклад видавлювання з рухомим інструментом та видавлювання з роздачою мало досліджені. Тому всебічне вивчення, а зокрема вплив швидкості деформування є **актуальною науково-практичною задачею**, яка потребує визначення закономірностей формоутворення порожнистих виробів в залежності від швидкості деформуючого інструменту.

Мета роботи – визначення впливу швидкості деформуючого інструменту на процес зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою, а саме: силові режими, напружено – деформований стан, кінцеву геометрію виробу, температуру кінцевого виробу, ступінь використання ресурсу пластичності.

Задачі дослідження:

- провести огляд публікацій в яких розглянуто процес зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою, особливу увагу приділити процесам з рухомим інструментом(матриці);
- визначити напрямки дослідження;

- виконати чисельне моделювання процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою пакеті програм DEFORM 2D і 3D, встановити вплив швидкості деформування на параметри процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою ;
- розробити рекомендації стосовно швидкості робочого інструменту.

Об'єкт дослідження – процес зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою.

Предмет дослідження – особливості та закономірності зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою при різних швидкостях деформування.

Методи дослідження – для отримання рішення поставленої задачі з отримання закономірностей процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою, було виконано чисельні експерименти процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою методом скінчених елементів з використанням програмного забезпечення DEFORM 2D та 3D.

Наукова новизна отриманих результатів:

- встановлено залежність: силових режимів та напружено деформованого стану заготовки для процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою при різних швидкостях деформування;
- визначено співвідношення швидкостей що дозволяє отримати виріб при значення коефіцієнта тертя та ступеня деформації;
- розроблено рекомендації стосовно застосування методу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою
- **Практичне значення одержаних результатів:**

На основі проведених чисельних експериментів розроблені рекомендації що до отримання порожнистих виробів зворотним холодним видавлюванням з роздачою при різних швидкостях деформування.

Особистий внесок здобувача:

Автором виконано чисельне моделювання процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою в умовах різних швидкостей деформуючого інструменту та запропоновано методику визначення раціонального співвідношення швидкості руху деформуючого інструменту.

Апробація. Результати роботи були викладені в матеріалах конференції молодих вчених проведеної до дня науки 2018р та VII Міжнародній науково-практичній конференції «ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ СУЧАСНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА МАШИНОБУДУВАННЯ» Луцьк, 20.05.2019.

РОЗДІЛ І
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ З ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ
ЗВОРОТНОГО ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ
ВИРОБІВ З РОЗДАЧЕЮ

1.1. *Способи зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачею*

Перед промисловістю сучасних світових держав ставляться задачі вдосконалення процесів зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з метою зменшення витрат на запуск виробництва нових типових деталей з любых матеріалів, або з покращеними властивостями які можливо отриманих традиційним способом.

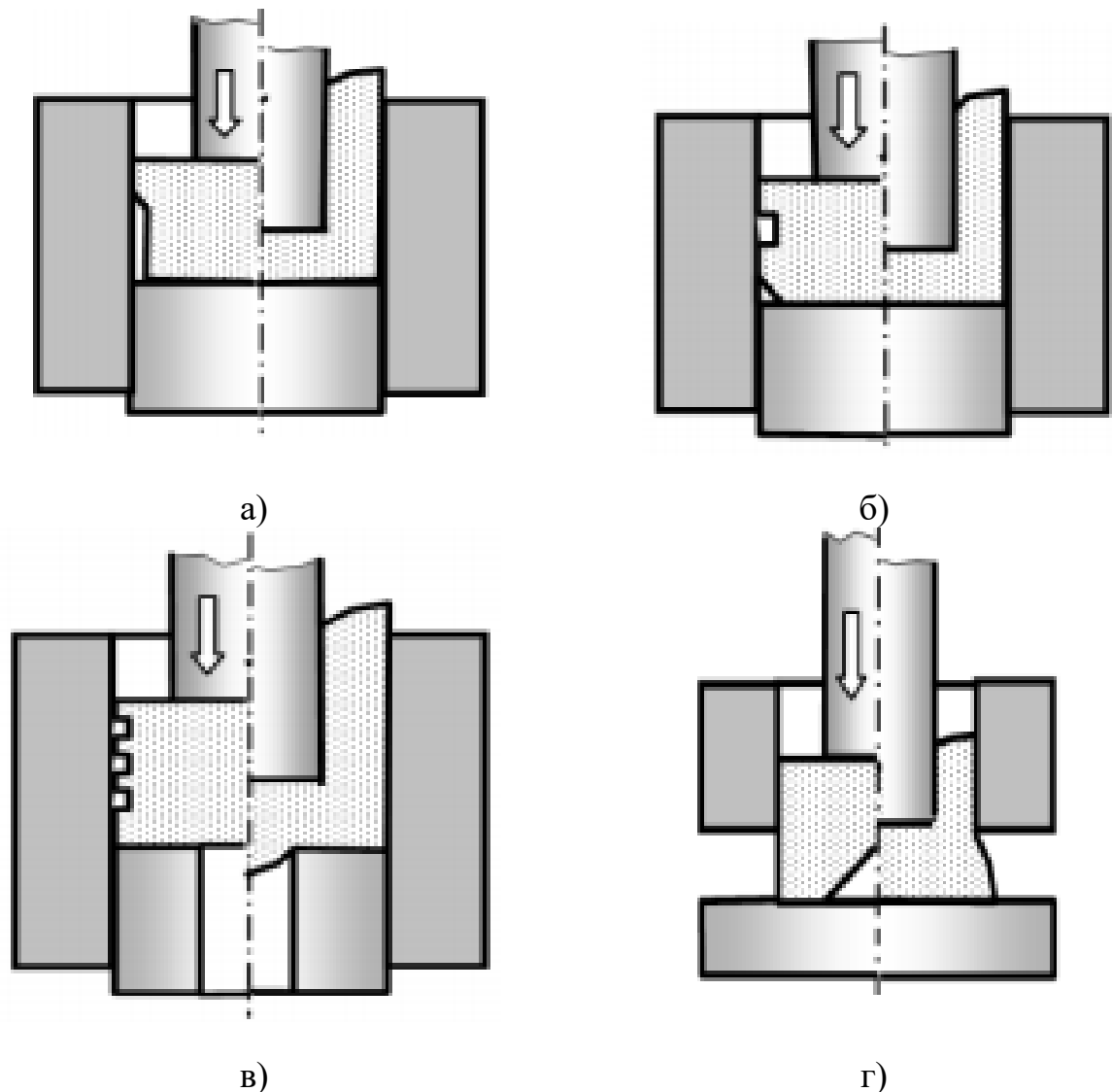


Рис.1.1 Схеми комбінованого видавлювання з роздачею з використанням вільних порожнин в заготовці

Технологічні схеми процесів зворотного холодного видавлювання з роздачою можна поділити на п'ять основних груп.

До першої групи можна віднести процеси комбінованого видавлювання з роздачою порожнистих виробів з додатковою вільною течією матеріалу в вільні порожнини (камери) [1-3]. Найбільш поширеними є схеми з вільним радіальним витіканням металу рис.1.1. та рис.1.2.

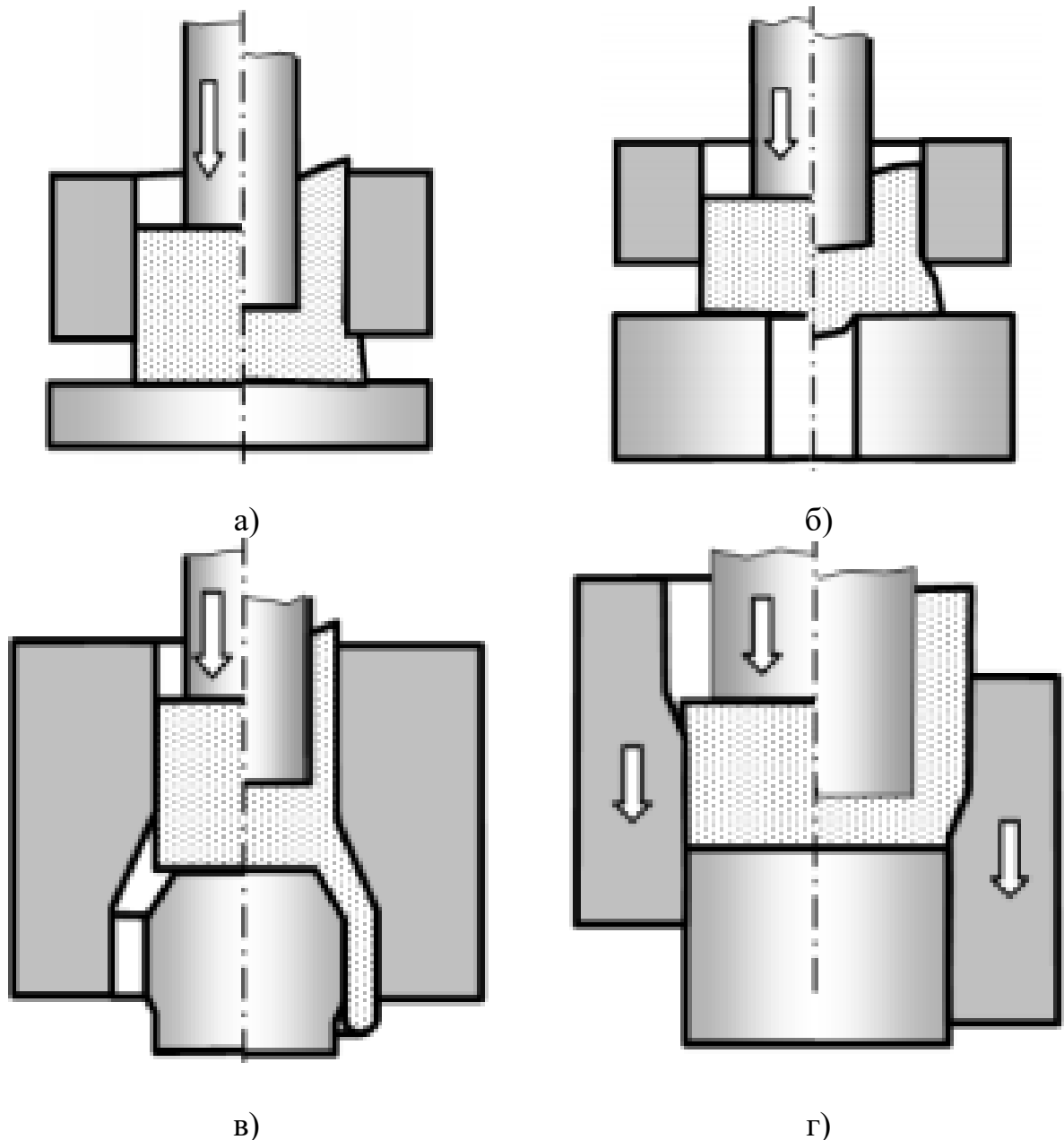


Рис.1.2 Схеми комбінованого зворотного та прямого видавлювання з роздачою з застосування вільних камер в матриці.

На рис.1.2 наведено схеми з використанням вільних камер в робочому інструменті. Це змінює характер течії матеріалу, що призводить до збільшення граничного ступіня деформування за рахунок збільшення гідростатичного тиску [3]. Але створення їх в заготовці потребує додаткових формоутворюючих операцій, це призводить до додаткових витрат. При виготовленні холодним видавлюванням гравюр матриць реалізовані ці процеси[1,3].

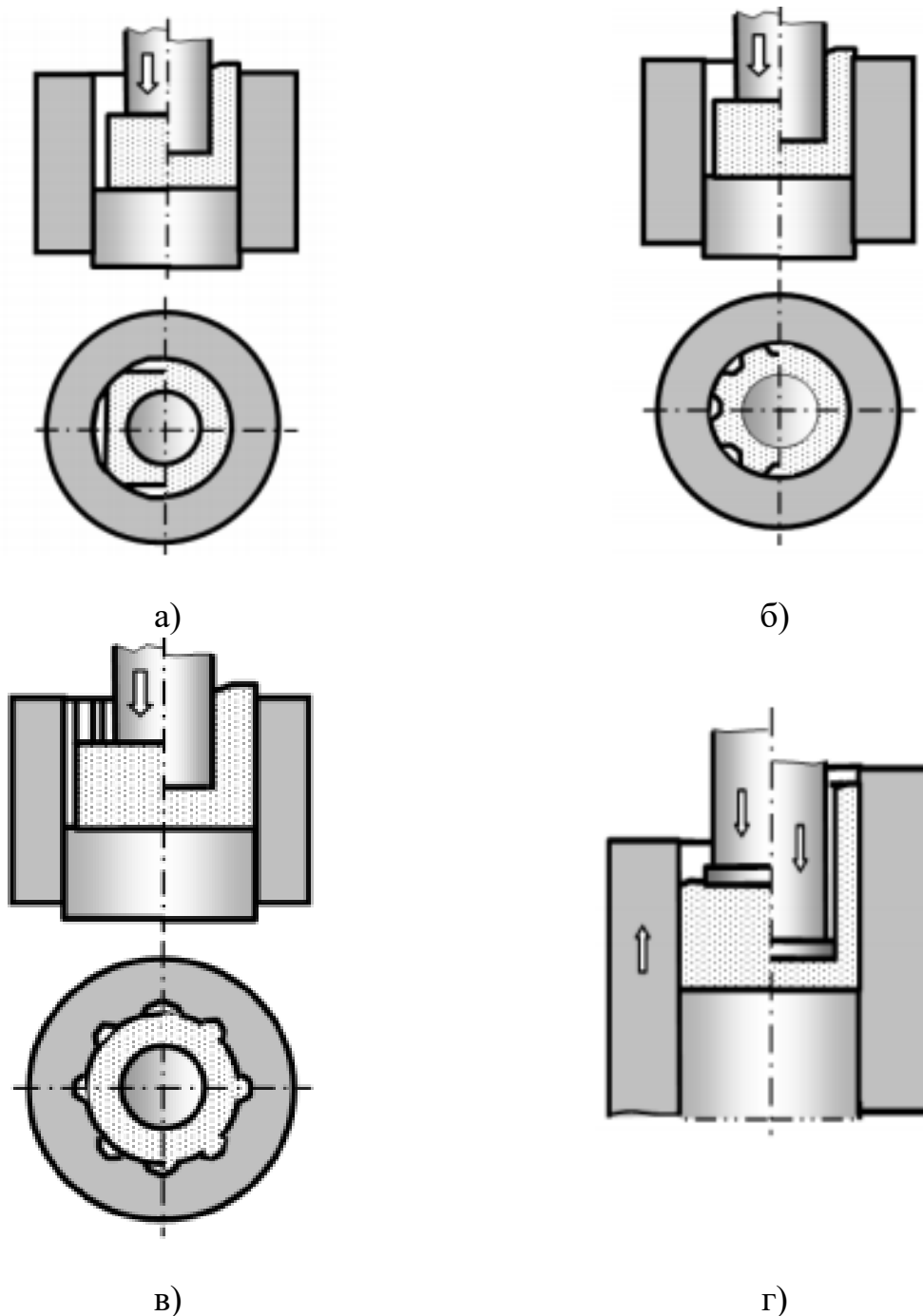


Рис.1.3 Схеми комбінованого видавлювання з роздачою з використанням вільних камер в матриці та заготовці.

The figure consists of four schematic diagrams, labeled a), б), в), and г), each showing a cross-sectional view of a mechanical assembly. The assembly features a central shaft with a keyway, surrounded by a housing or support structure. The diagrams illustrate different internal configurations or stages of assembly:

- a)** Shows a central shaft with a keyway, surrounded by a housing. A shaded region indicates a specific internal component or material.
- б)** Shows a similar assembly, but with a different internal configuration, possibly representing a different stage of assembly or a different design variant.
- в)** Shows a central shaft with a keyway, surrounded by a housing. A shaded region indicates a specific internal component or material.
- г)** Shows a similar assembly, but with a different internal configuration, possibly representing a different stage of assembly or a different design variant.

Використання профільованих заготовок які отримані на попередніх операціях з конічними центруючими поясками рис.1.4в для комбінованого

видавлювання дає можливість суттєво знизити різнотовщиність та підвищити стійкість пуансону[5]. Необхідність попереднього профілювання вихідної заготовки є недоліком цих схем. Спосіб що показано на рис.1.4г не потребує операцій з попереднього профілювання вихідної заготовки.

Треба відмітити схеми що дозволяють використовувати активні сили тертя (див. рис 1.2г та рис.1.3г). Реалізація схеми на рис.1.3г дозволяє знизити загальне зусилля на 10 [6]. В роботах з визначення впливу активних сил тертя не приділяється уваги по визначенню впливу швидкості руху формоутворюючих інструментів.

В окремий ряд можна виділити схеми видавлювання з роздачою представлені на рис. 1.5.

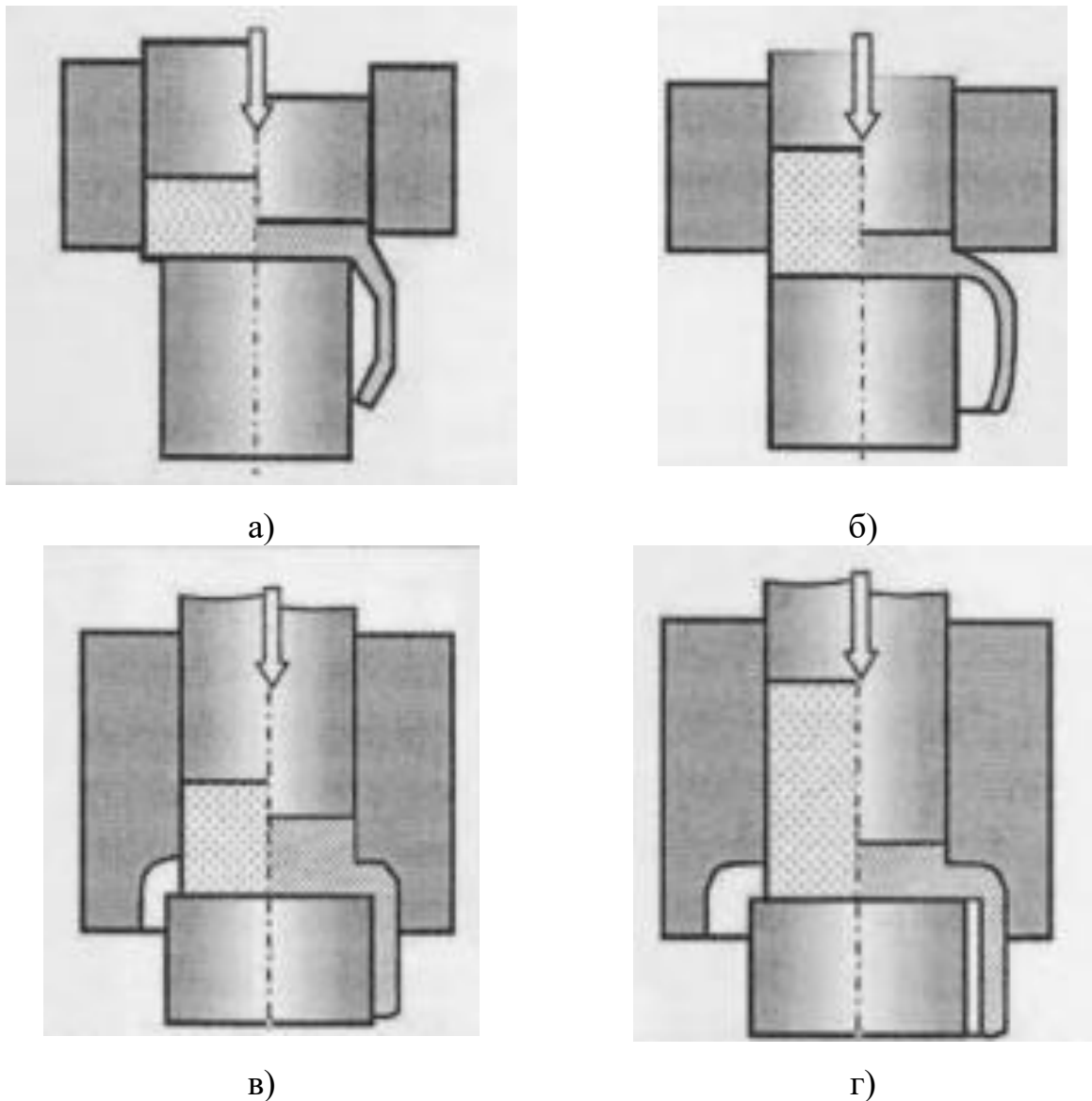


Рис.1.5 Схеми радіального видавлювання з роздачою порожнистих виробів.

Цей спосіб отримання порожнистих виробів з суцільної заготовки в результаті радіального видавлювання, що має змінну течію в зворотному або прямому напрямку деформованого металу (рис.1.5. б-г) та є новим способом отримання порожнистих виробів[7-10]. Процес виготовлення порожнистих виробів по цим схемам має назву послідовним комбінованим радіально-прямим видавлюванням та відноситься до процесів з розвиненою радіальною течією металу. Використання цих способів деформування може дозволити суттєво знизити зусилля деформування, за рахунок зменшення площі контакту заготовки та активного деформуючого інструменту а також і за рахунок різнойменної схеми напружено - деформованого стану[7,11].

Для цих способів отримання порожнин велике значення має розмір «перекриття» отвору каналу між пуансоном та матрицею.

1.2. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою

В останній час ряд досліджень присвячено в основному оцінці силового режиму, дослідженню характеру впливу технологічних факторів та коефіцієнта тертя на енергосилові параметри холодного комбінованого видавлювання. Всебічне вивчення теоретичним шляхом процесу виготовлення порожнистих деталей радіально - прямим видавлювання з роздачою дозволяє оцінити зниження силових параметрів (в кілька разів), в випадку реалізації на практиці переваг процесу радіально - прямого видавлювання[8-10,12]. Майже всі роботи, що описують запропоновані нові способи та силові режими процесів містять результати чисельних експериментів за допомогою комп'ютерного моделювання без порівняння цих параметрів процесів комбінованого та традиційного поздовжнього видавлювання [10-12].

Спосіб радіального видавлювання фланців [9, 11] є схемою штампування з розвиненою радіальною течією (роздачою) деформованого матеріалу але відрізняється схемою напруженого стану яка є менш жорсткою. Подальшим розвитком цього способу є доповнення його елементами течії в осьовому напрямку, що дозволило отримувати порожнисті вироби з суцільних заготовок в комбінованому процесі. Порівнюючи з традиційними способами поздовжнього видавлювання, поєднання двох напрямків течії повинно було призвести до істотного зниження енергосилових параметрів. Цікавим результатом досліджень є співставлення силових режимів процесів поздовжнього та комбінованого послідовного радіально - прямого видавлювання порожнистих виробів. Чисельне моделювання процесів отримання порожнистих деталей видавлюванням проводили методом скінчених елементів (МСЕ) у програмі Qform VX. Матеріал заготовки АД31, значення коефіцієнта тертя μ приймали 0,04.

Авторами [13] проведено аналіз та систематизовано різні технологічні способи видавлювання, які спрямовані на зниження загального зусилля та питомих зусиль деформування при виготовленні порожнистих виробів. Для ефективно забезпечення більшого ступеня свободи течії металу доцільно використовувати деформування з переважної радіальної течією матеріалу. Шляхом чисельного моделювання МСЕ виконано порівняння силового режиму процесів виготовлення порожнистих виробів способами прямого з раздачою («безматричного») та комбінованого радіально - прямого видавлювання було встановлено, що при радіально-прямому видавлюванні зі збільшеним поперечним перерізом заготовки характеризуються найбільшими значеннями сил деформування. Використовуючи МСЕ були вивчені закономірності розвитку НДС заготовок при радіально-прямому видавлюванні з раздачою. Встановлено, що немонотонній деформації з додатним значенням показника напруженого стану підлягають матеріальні частинки заготовки, розташовані на периферійних ділянках. Виготовлення порожнистих виробів способами «без матричного» видавлювання дає

можливість знизити зусилля деформування, в порівнянні з радіально-прямим видавлюванням заготовок, але геометрична форма деталі потребує застосування додаткових операцій - калібрування, витяжки з потоншенням або протягуванню. Отримання виробів за схемами радіально - прямого видавлювання з меншим діаметром заготовок у штампах, з розвиненою радіальною течією матеріалу дає можливість отримати необхідну якість кінцевого вироу, але суттєво поступається у значеннях зусилля видавлювання в порівнянні з «безматричним» для однакових вихідних заготовок.

Чисельним шляхом визначено вплив зазору m для схем радіально - прямого видавлювання. Використання МСЕ дозволило отримати характер напружено-деформованого стану та величину зусилля деформування для заготовок різного діаметру. Наведено результати досліджень по визначенню впливу, за рахунок зменшення діаметру контрпуансону, зміни товщини стінки заготовки. Найбільше деформуються шари металу, що контактують з дном та внутрішньої поверхні порожнини стакану. Великі значення інтенсивності напружень досягають та концентруються в шарі поблизу внутрішнього радіуса стакану, а менші - в шарі поблизу зовнішнього радіуса. Збільшення товщини стінки порожнистого виробу не має суттєвого впливу на характер розподілу напружено-деформованого стану в об'ємі заготовки[14,15].

Використовуючи МСЕ було проведене чисельне моделювання зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з виступом у донній частині зі сторони порожнини. Проведено порівняння отриманих результатів за схеми зворотного традиційного видавлювання та зворотного видавлювання з роздачою. Визначені залежності зусиль деформування виштовхування виробів із матриці в залежності від переміщення деформуючого інструмента. При отриманні виробів за схемою зворотного холодного видавлювання з роздачою зусилля деформування зменшується на

13%. При цьому досягається зменшення величин питомих зусиль на контактуючих поверхнях інструмента з заготовкою. Встановлено: температура zdeформованого металу, кінцевий деформований стан в об'ємі виробу, з урахуванням пружної деформації виявлена розміри і форма виробів після виймання з матриці. Визначено величини межі текучості zdeформованого металу у стінках виробів. Рекомендована схема зворотного видавлювання з роздачою для реалізації на виробництві отримання таких виробів[16].

Авторами роботи [17] МСЕ проведений всебічний аналіз холодного видавлювання порожнистих виробів по схемах: зворотного видавлювання, зворотного видавлювання з роздачою та прямого видавлювання з роздачою. Визначено зусилля видавлювання, зусилля виймання пуансонів з виробів та зусилля виштовхування виробів з матриць в залежності від переміщення деформуючого інструмента. Розрахунки показали що при видавлюванні з роздачою величина зусилля видавлювання зменшується на 10%. Отримано точний розподіл питомих зусиль на інструменті (пуансонах, виштовхувачах і матрицях). В середньому на 120 МПа питомі зусилля при видавлюванні з роздачою зменшуються в порівнянні зі зворотним видавлюванням. Розраховані кінцеві форми і розміри виробів, з урахуванням пружної деформації, найбільш точну форму виробу забезпечує холодне зворотне видавлювання. Встановлений напружено - деформований стан металу в об'ємі заготовки при формоутворенні виробів, визначено температуру zdeформованого металу. Використання видавлювання з роздачою забезпечує більш рівномірне пропрацювання пластичною деформацією структури металу по товщині стінки виробів в порівнянні з зворотним видавлюванням.

Застосування метода скінчених елементів (МСЕ) для теоретичного аналізу (чисельних експериментів) процесів холодного видавлювання дозволяє визначати всі необхідні дані для проектування технологічних

процесів та штампового оснащення, які в подальшому не потребують доопрацювання експериментами [17,18].

Висновки: Виходячи з аналізу досліджень які проводилися та результати яких представлені на теперішній час необхідно відмітити, що значну увагу автори присвячують визначенню силових режимів, напружено деформованому стану в залежності від ступеня деформації, геометрії робочого інструменту для зворотного холодного видавлювання з роздачою та порівнянню отриманих результатів з іншими способами отримання порожнистих виробів. Але для цього способу відсутні данні по швидкості деформуючого інструменту на параметри цього процесу.

РОЗДІЛ II

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до виконаного аналізу джерел в магістерській роботі ставляться такі задачі:

1. Дослідити вплив швидкості пуансона на: силові режими, напружено-деформований стан, температуру заготовки, кінцеву геометрію виробу, що отримується та ступінь використання ресурсу пластичності;
2. Визначити вплив швидкості матриці на: силові режими, напружено-деформований стан, температуру заготовки, кінцеву геометрію виробу, що отримується та ступінь використання ресурсу пластичності.

Розрахункова схема процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою показана на рис.2.1. В магістерській роботі буде використана скінченна - елементна програма DEFORM 2D3D. Деформуючий інструмент приймаємо абсолютно жорстким, матеріал заготовок вважаємо пружно-пластичним з урахуванням зміцнення. Це дозволяє визначити кінцеві форму і розміри виробів з урахуванням пружних деформацій, а також провести моделювання процесів виймання інструменту з заготовки та виштовхування її з матриці в кінці процесу видавлювання. Врахування впливу сил тертя здійснюємо по закону Кулона. Коефіцієнтом тертя μ приймаємо 0,08. Швидкість деформування приймаємо буде змінною див. таблицю 1.

Встановлюють заготовку 1 в рухомій матриці 2 на виштовхувач3. Деформування заготовки здійснюється пуансоном 4. В процесі видавлювання матрицю 2 будуть переміщувати вниз з різною швидкістю. Якщо кінцевий виріб 5 запишиться 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.

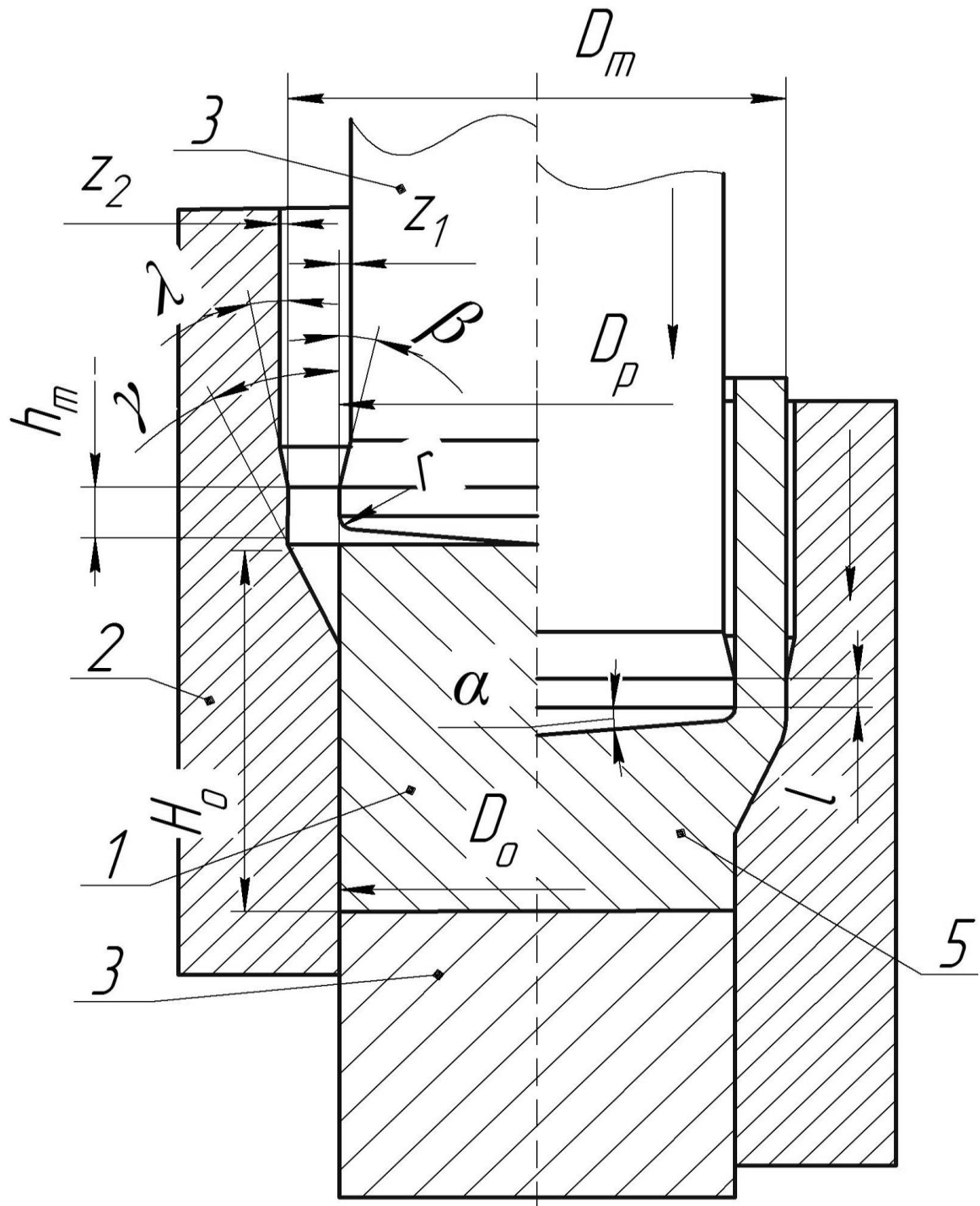


Рис. 2.1. Схема процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою для чисельних експериментів.

В таблиці 2.1 наведено виконавчі розміри пуансону, матриці та швидкості їхнього руху, вплив яких, буде досліджено в даній роботі, на параметри процесу зворотного холодного видавлювання.

Виконавчі розміри інструменту та заготовки для чисельних експериментів

Таблиця 2.1.

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 закономірності зміни силових режимів, напружено – деформованого стану, кінцевої геометрії виробу, ступінь використання ресурсу пластичності та температуру заготовки.

Швидкості руху робочого інструменту (пуансону V_{Π} та матриці V_M) зведено в таблицю 2.2.

Швидкості руху робочого інструменту Таблиця 2.2.

V_{Π} , 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

РОЗДІЛ III

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1. Вплив швидкості пуансону на параметри процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою

Процес зворотного холодного видавлювання моделювався з вихідного положення заготовки що виступала з матриці на висоту $h = 5$ мм і $h = 8$ мм. На рис. 3.1. показано ітерації моделювання процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою. Рис.3.1а вихідне положення де 1-заготовка, 2-рухома матриця, виштовхувач 3 та пуансон 4.

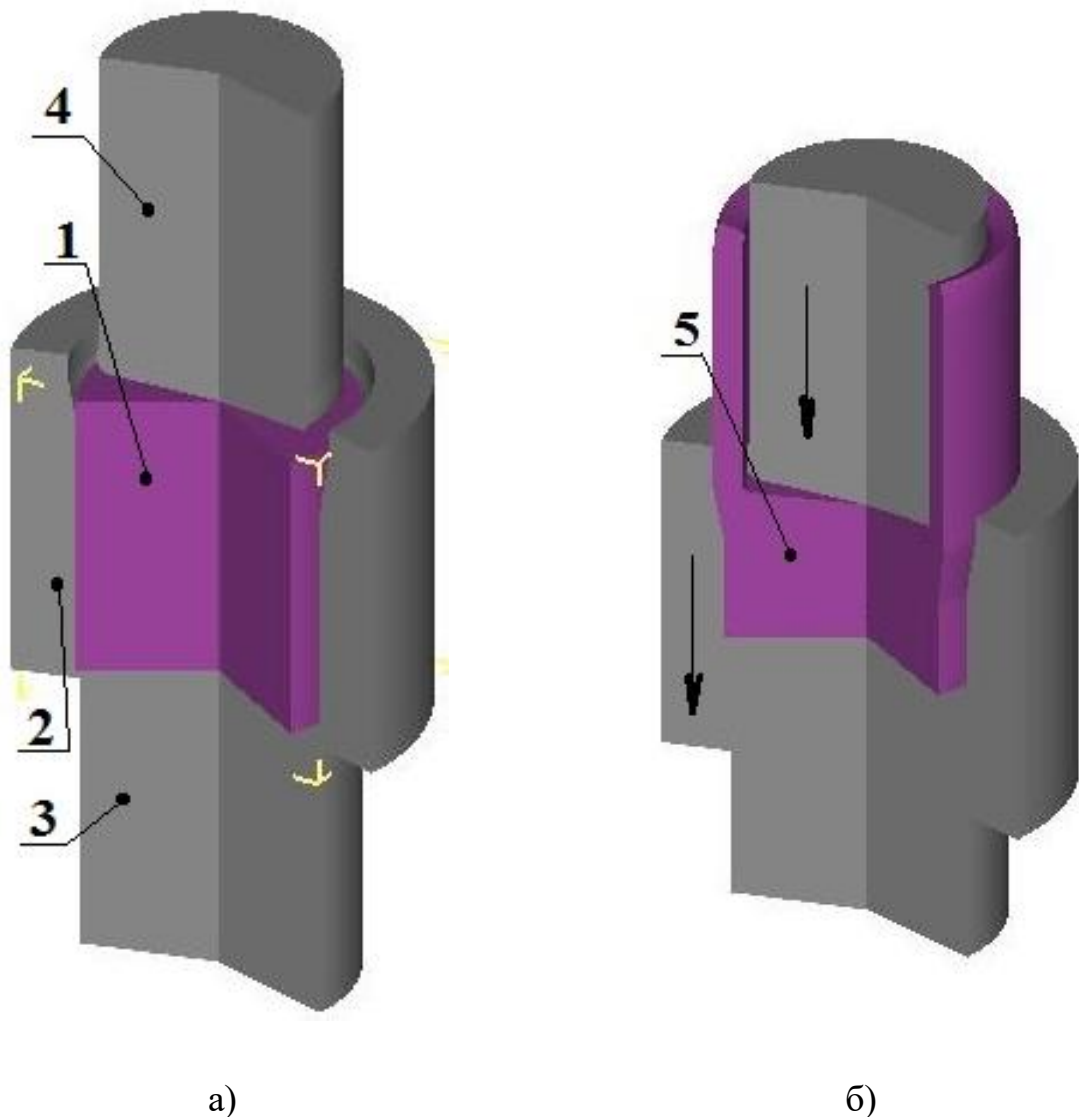
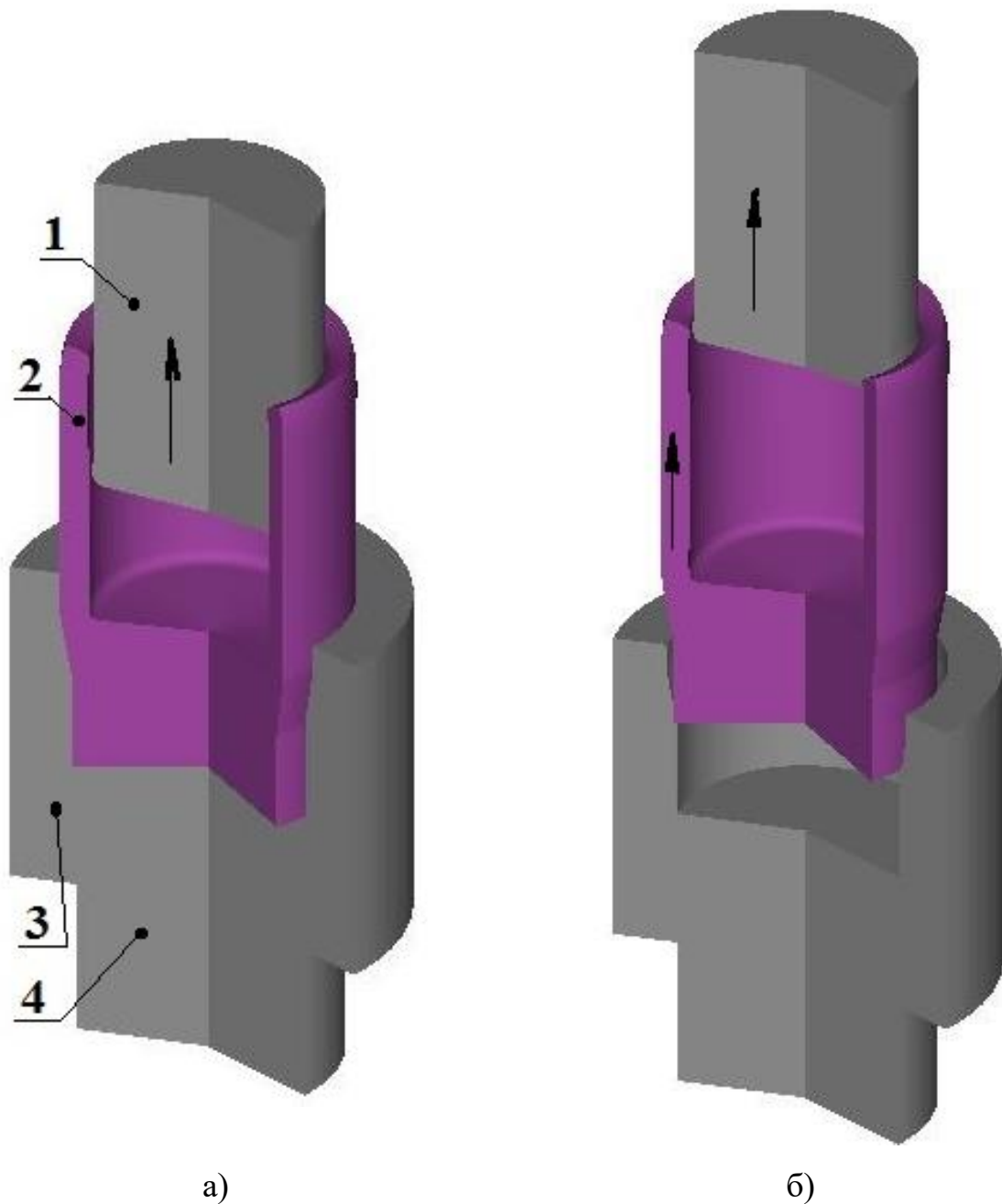


Рис. 3.1 Етапи моделювання процесу зворотного холодного видавлювання

На другому кроці було змодельовано виймання пуансона з кінцевого виробу та зроблено оцінку можливості його залишення в матриці або на пуансоні (див. рис.3.2)

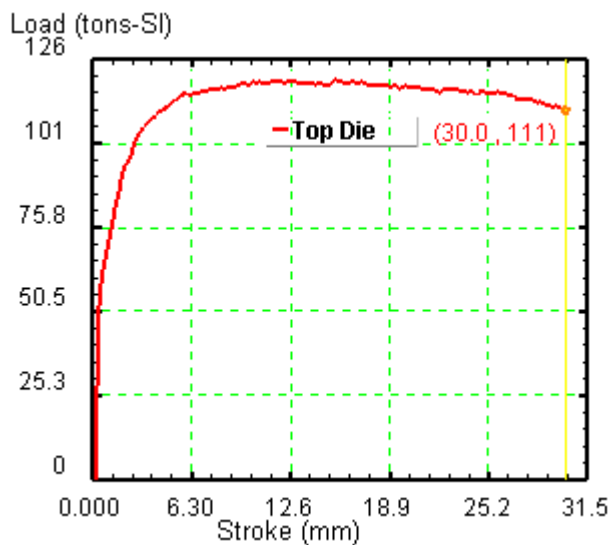


а) б)
Рис. 3.2. Схема виймання пуансона з виробу

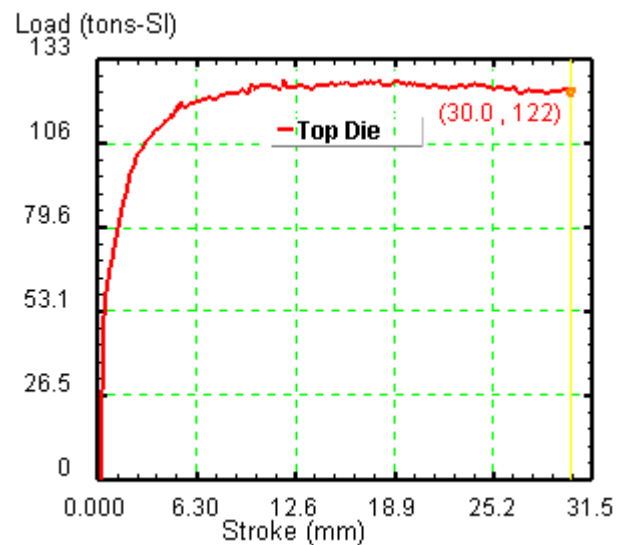
Цей крок чисельного моделювання дає можливість на попередній стадії розробки технологічного процесу визначити необхідність використання пристрою для знімання виробу з пуансону. На етапі чисельних експериментів маємо можливість визначитися з конструкцією штампового оснащення.

3.1. Вплив швидкості пуансону на параметри процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою

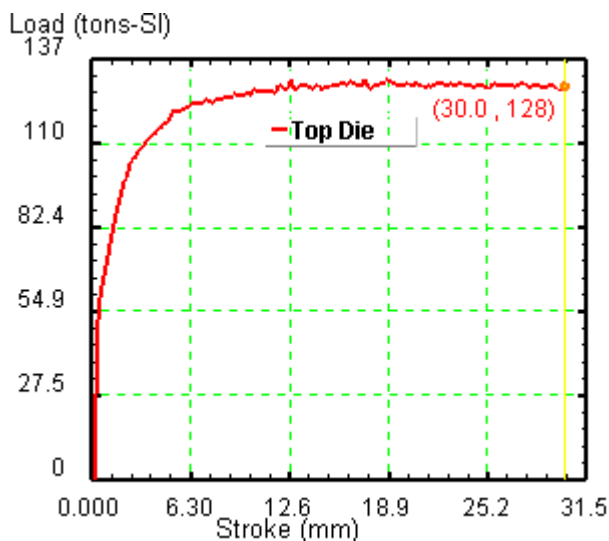
На рис. 3.3 показані теоретичні залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансону для різних швидкостей руху пуансону для початкового положення заготовки $h=5$ мм. При збільшенні швидкості пуансону, спостерігається збільшення загального зусилля видавлювання.



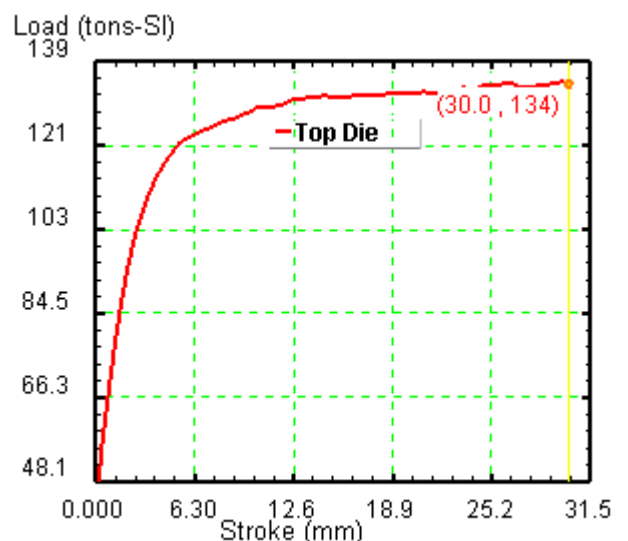
1.6 мм/с



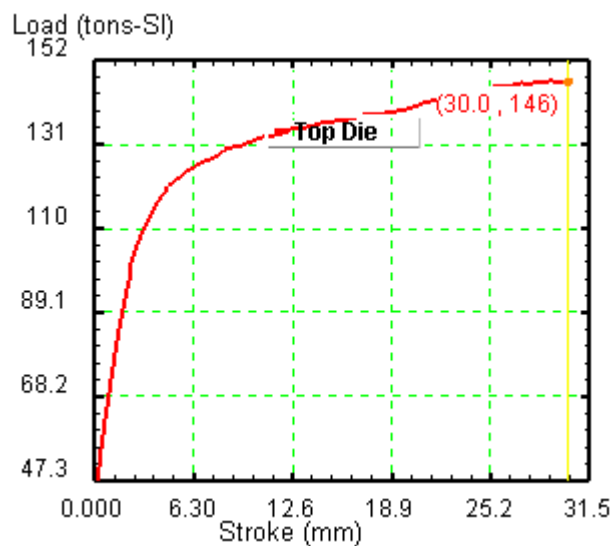
1.8 мм/с



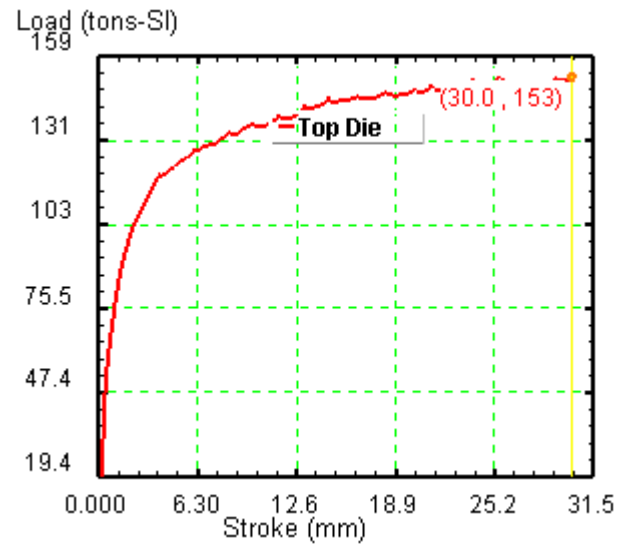
2 мм/с



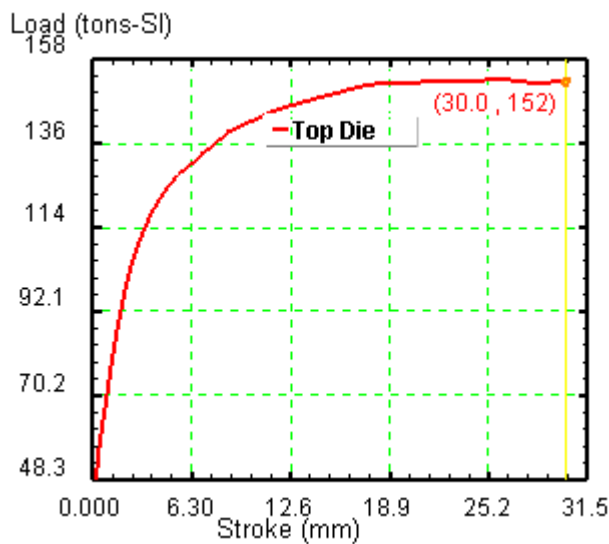
2.2 мм/с



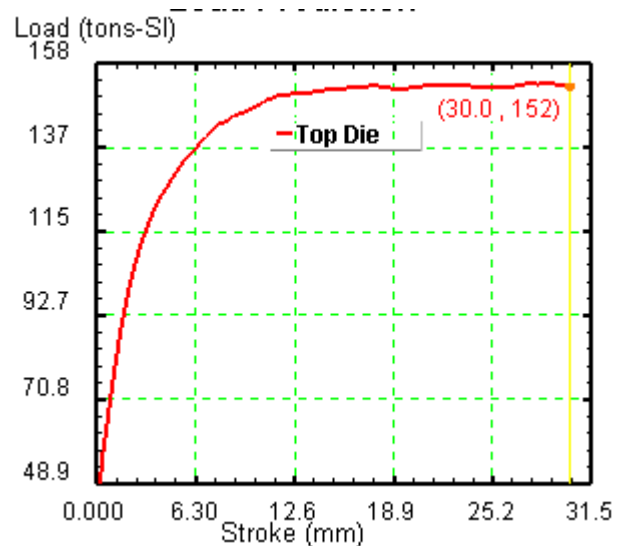
2.5 mm/c



3 mm/c



4 mm/c



7 mm/c

Рис. 3.3. Залежності зусилля деформування від переміщення для різних швидкостей руху пуансону

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



Рис. 3.4. Залежність максимального зусилля деформування від різних швидкостей руху пуансону

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

Геометрія виробу в залежності від швидкості пуансону представлено на рис. 3.5. Видно, що при збільшенні швидкості збільшується течія металу в осьовому. Можливість заповнити повністю стінку виробу спостерігається при швидкості пуансону меншою за швидкість матриці на 40-50%. Якість стінки зменшується, утворюється різностінність по висоті .

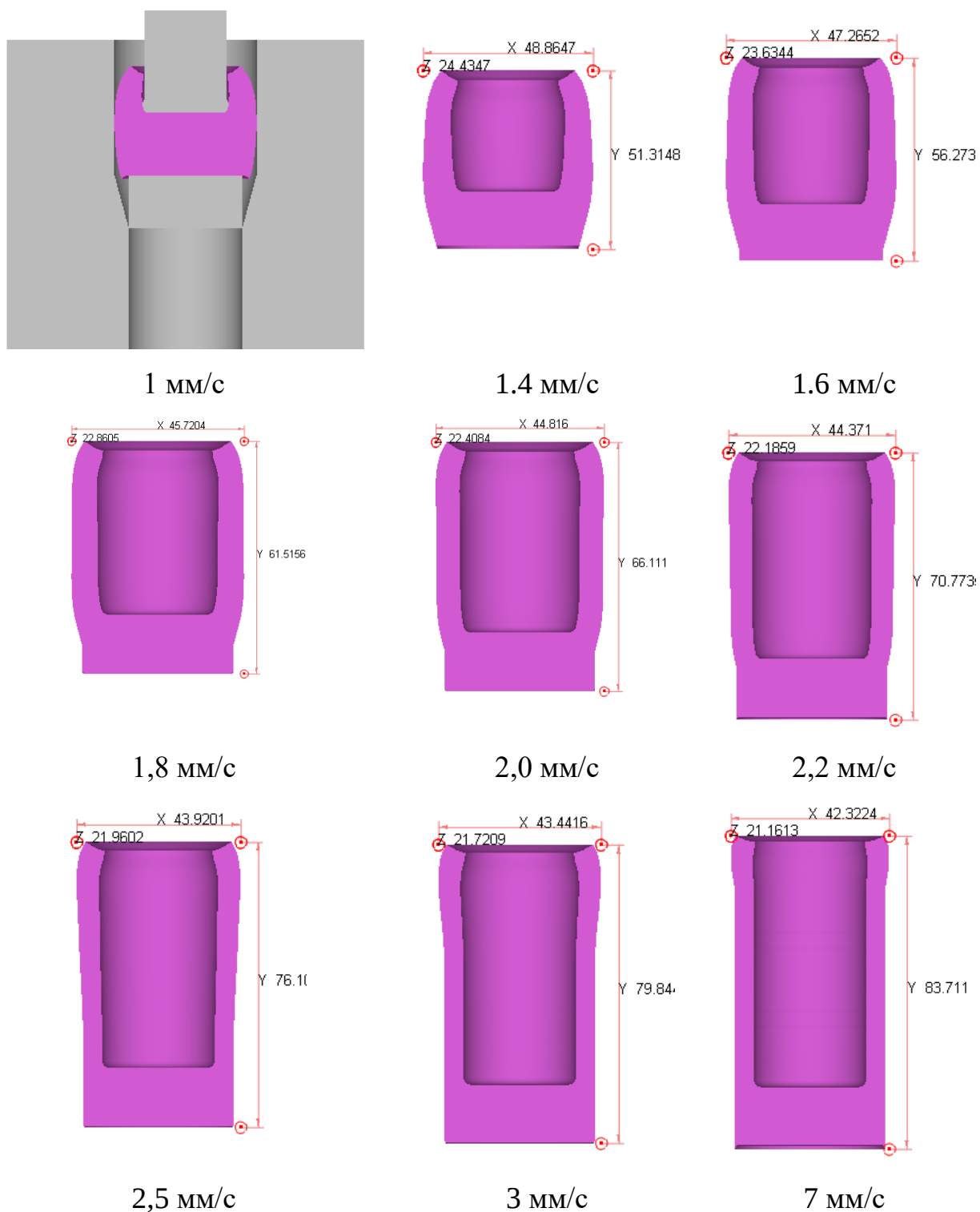


Рис. 3.5 Кінцева геометрія виробу з розмірами

При формоутворенні з такими швидкостями необхідно досягти рівномірну течію зовнішніх та внутрішніх шарів стінки порожнистого виробу. Відсутність контакту матриці з зовнішніми шарами стінки сприяє інтенсивному витіканню саме зовнішніх шарів порожнистого виробу.

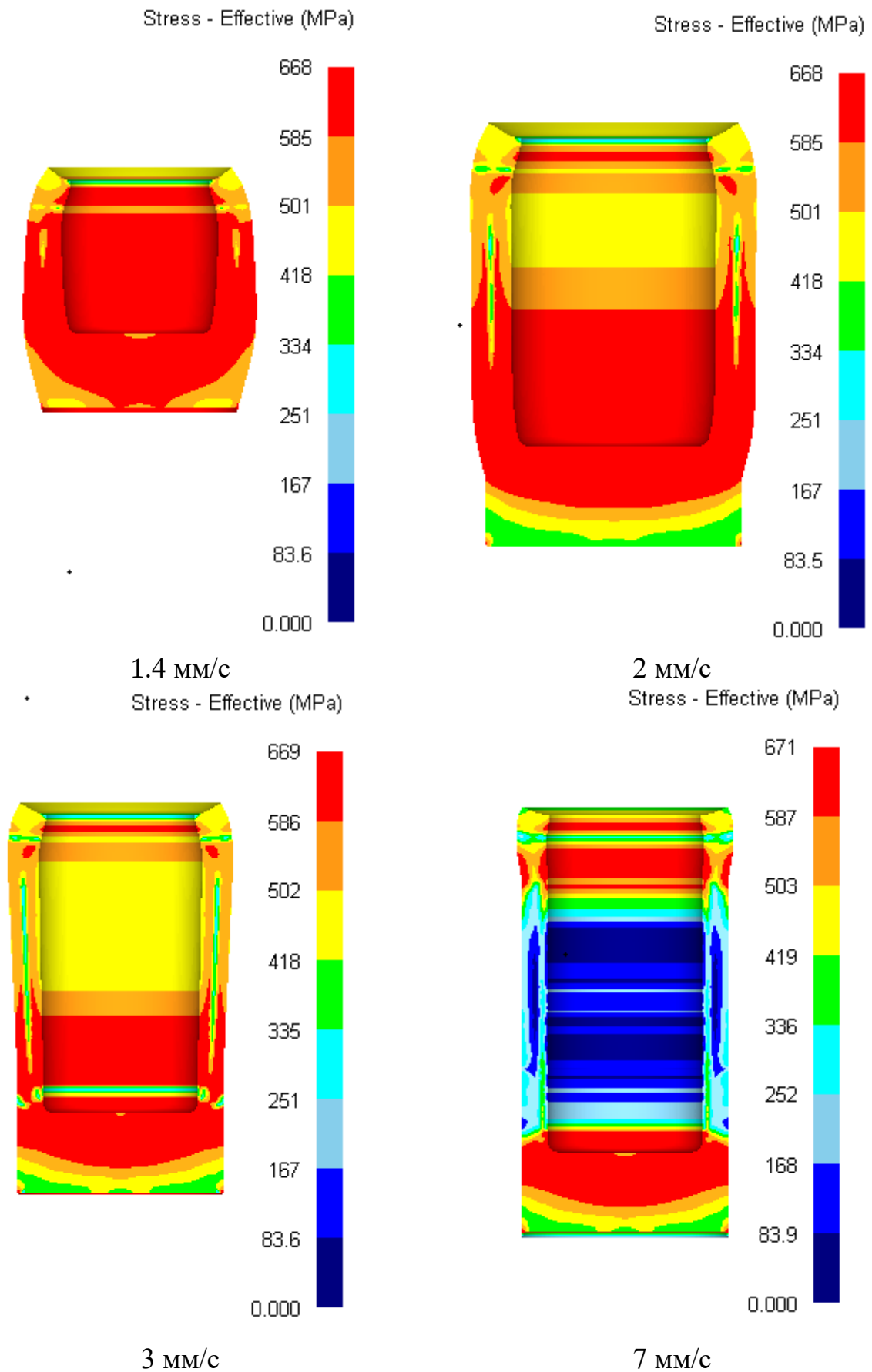


Рис. 3.6. Розподіл σ_e по об'єму виробу при максимальному зусиллі деформування

в той самий час внутрішні, під дією сил тертя, що виникають від контактування заготовки з калібруючим пояском пуансону, загальмовуються.

При малих швидкостях процес зворотного видавлювання з роздачою нагадує процес осаджування.

На рис. 3.6 наведено розподіл інтенсивності напружень σ_i по об'єму заготовки. Аналізуючи цей розподіл можемо: оцінити зміцнення матеріалу, якого він набуває в наслідок холодного пластичного деформування, визначити найбільше зміцнення в об'ємі заготовки та відбувається воно по всьому об'ємі. З представлених розподілів видно що найкраще (рівномірне) зміцнення протікає при видавлюванні з швидкостями пуансоном 2.5 мм. Зміцнення матеріалу майже в 2 рази.

Представлено на рис.3.7 розподіл σ_{cp} по об'єму заготовки. Використовуючи ці данні розрахуємо пуансон на міцність при проектуванні штампового оснащення та оцінюванні стійкості робочого інструменту.

Максимальні напруження σ_{cp} під пуансоном спостерігаються при швидкості пуансону 1.4 мм/с досягаючи значень 1600 МПа, збільшення швидкості призводить до зміни напруженого стану в осередку деформації.

На рис.3.8 наведено розподіл σ_p в об'ємі виробу.

Цей розподіл використовують для розрахунку матриці на міцність, необхідність використання бандажів та для подальшого конструювання штампового оснащення. Максимальне значення σ_p 1200 МПа розпираючи зусилля досягають при утворенні порожнини з швидкістю руху 1 мм/с в області переходу конічної поверхні в циліндричну. Використання процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою при великих швидкостях призводить до максимального навантаження на інструмент.

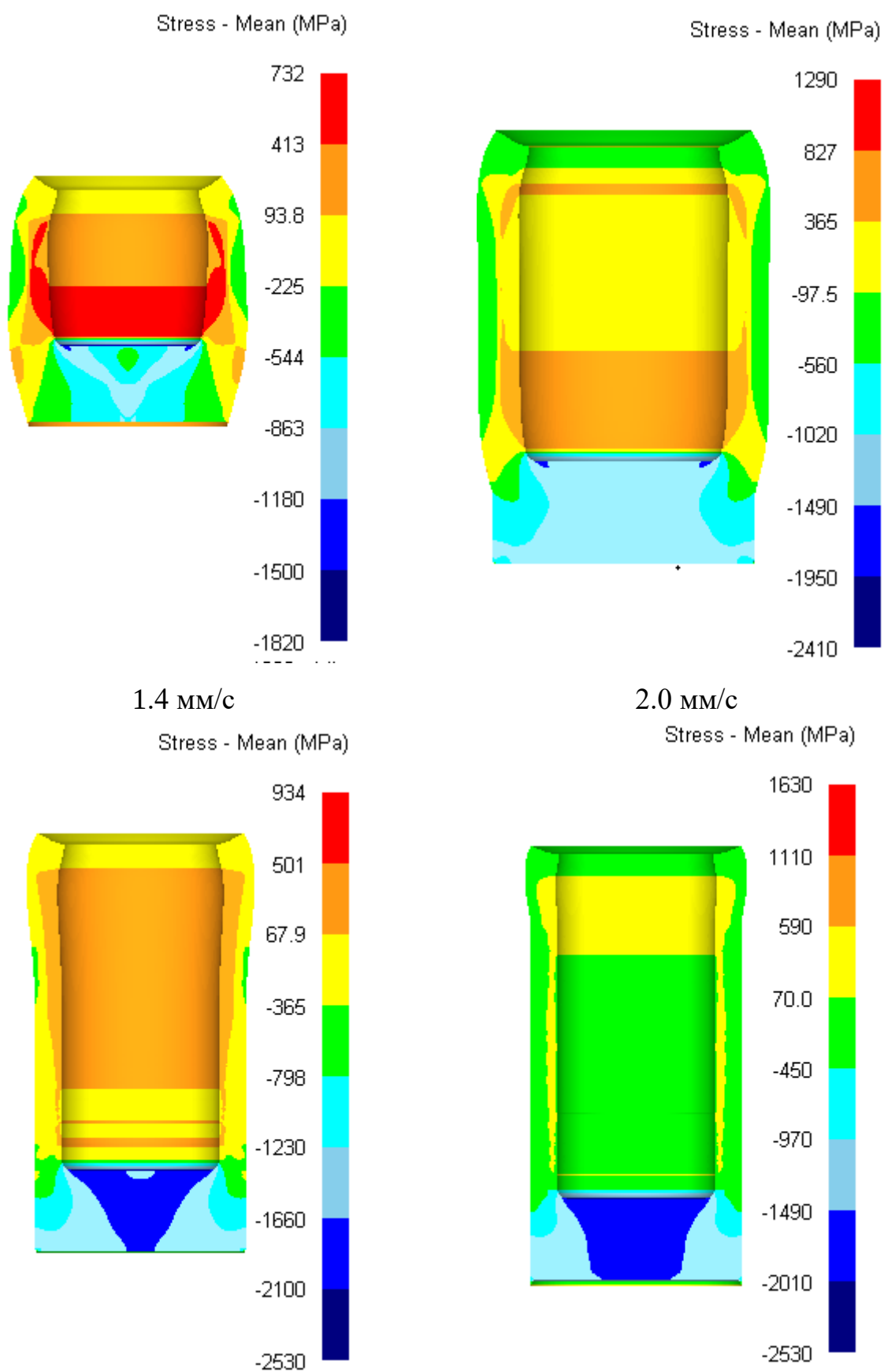


Рис. 3.7. Розподіл σ_z по об'єму виробу при максимальному зусиллі

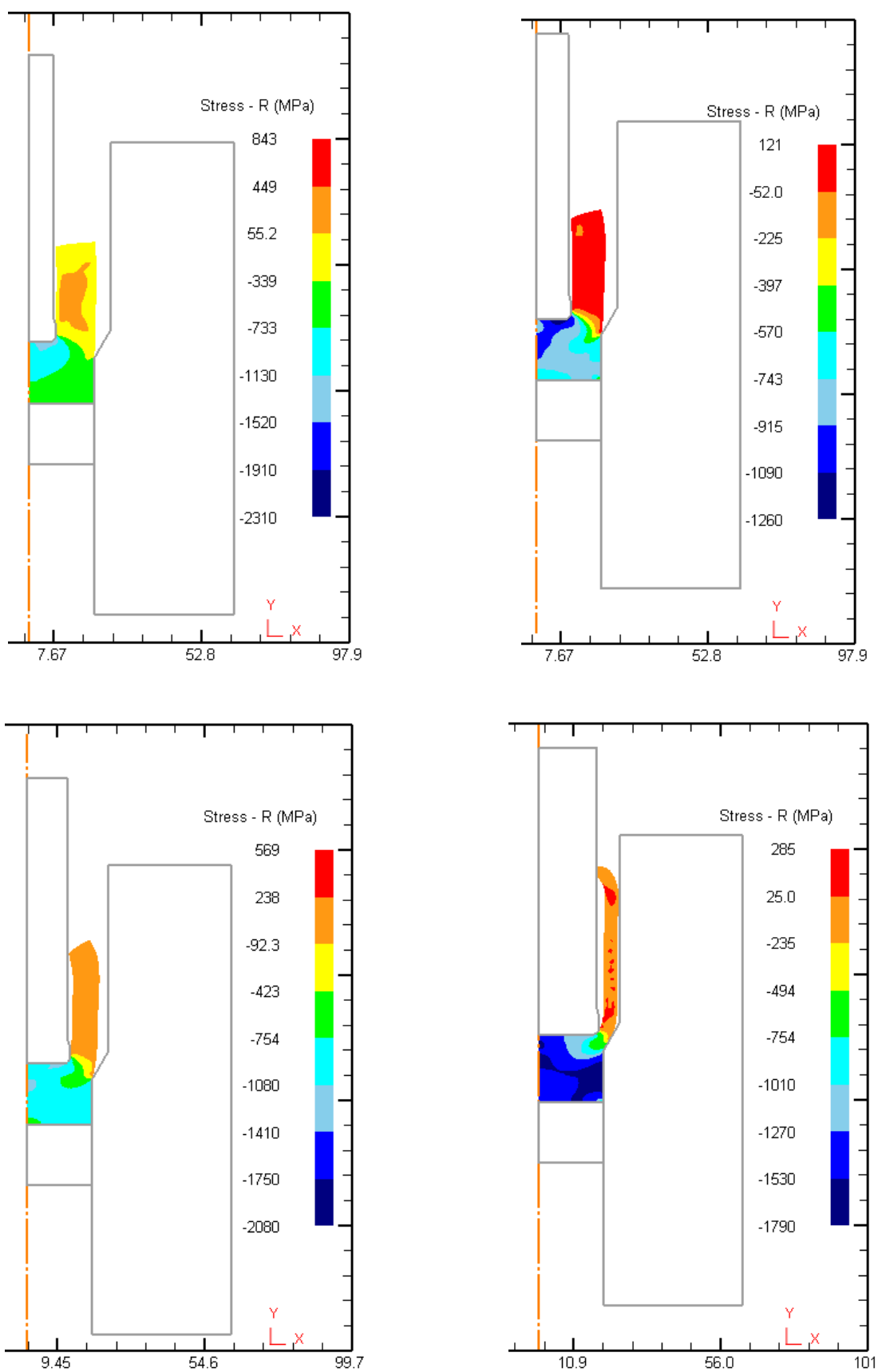


Рис. 3.8. Розподіл σ_p по об'єму виробу при максимальному зусиллі

За допомогою ступеня використання ресурсу пластичності маємо змогу оцінки можливість отримання виробу необхідної конфігурації. Розрахувати кількість переходів. Розподіл представлено на рис. 3.9.

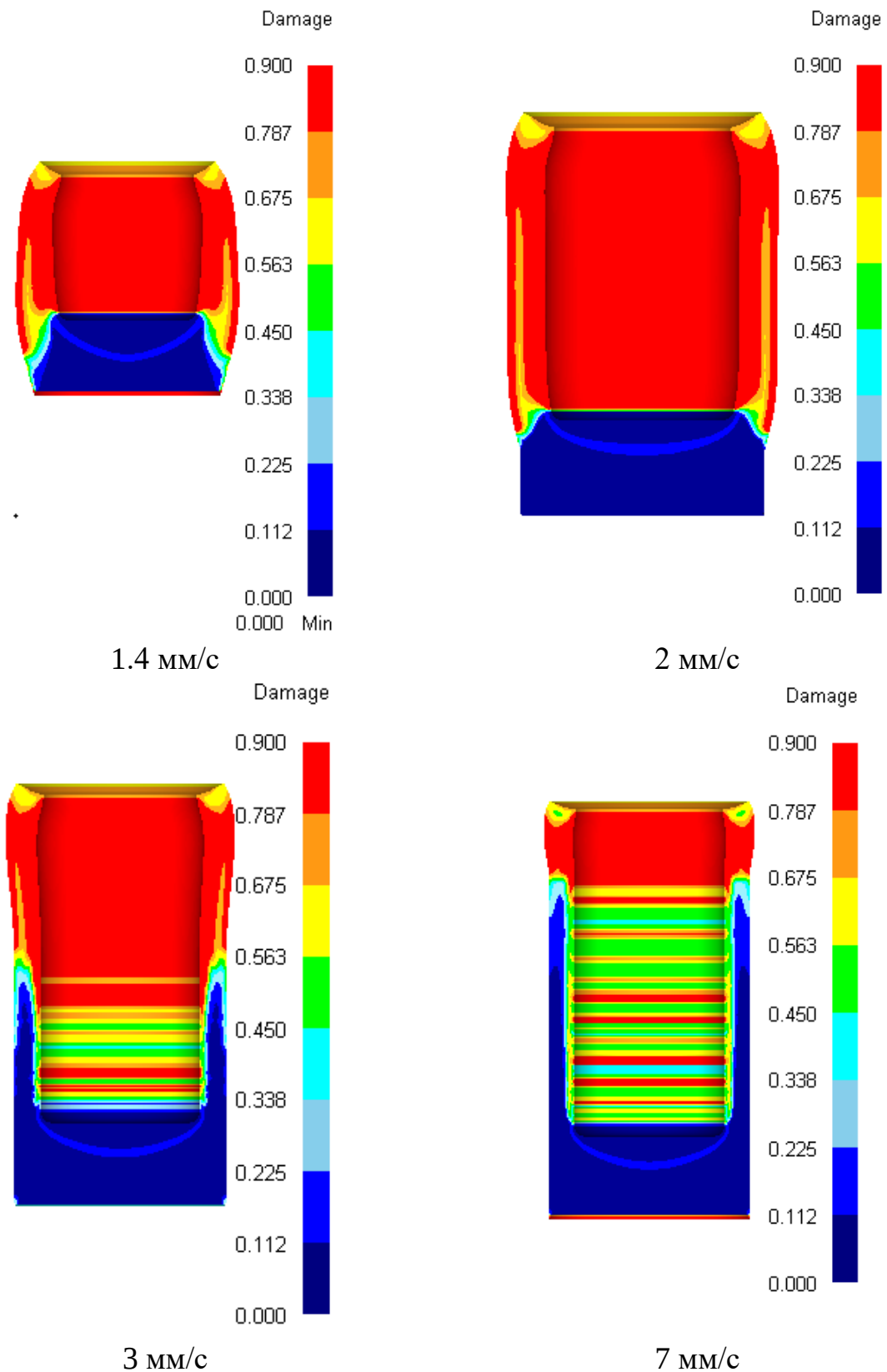


Рис. 3.9 Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ в об'ємі виробу

Аналізуючи отримані розподіли треба сказати, що при малих швидкостях можливе виникнення незначних дефектів на внутрішній стінці

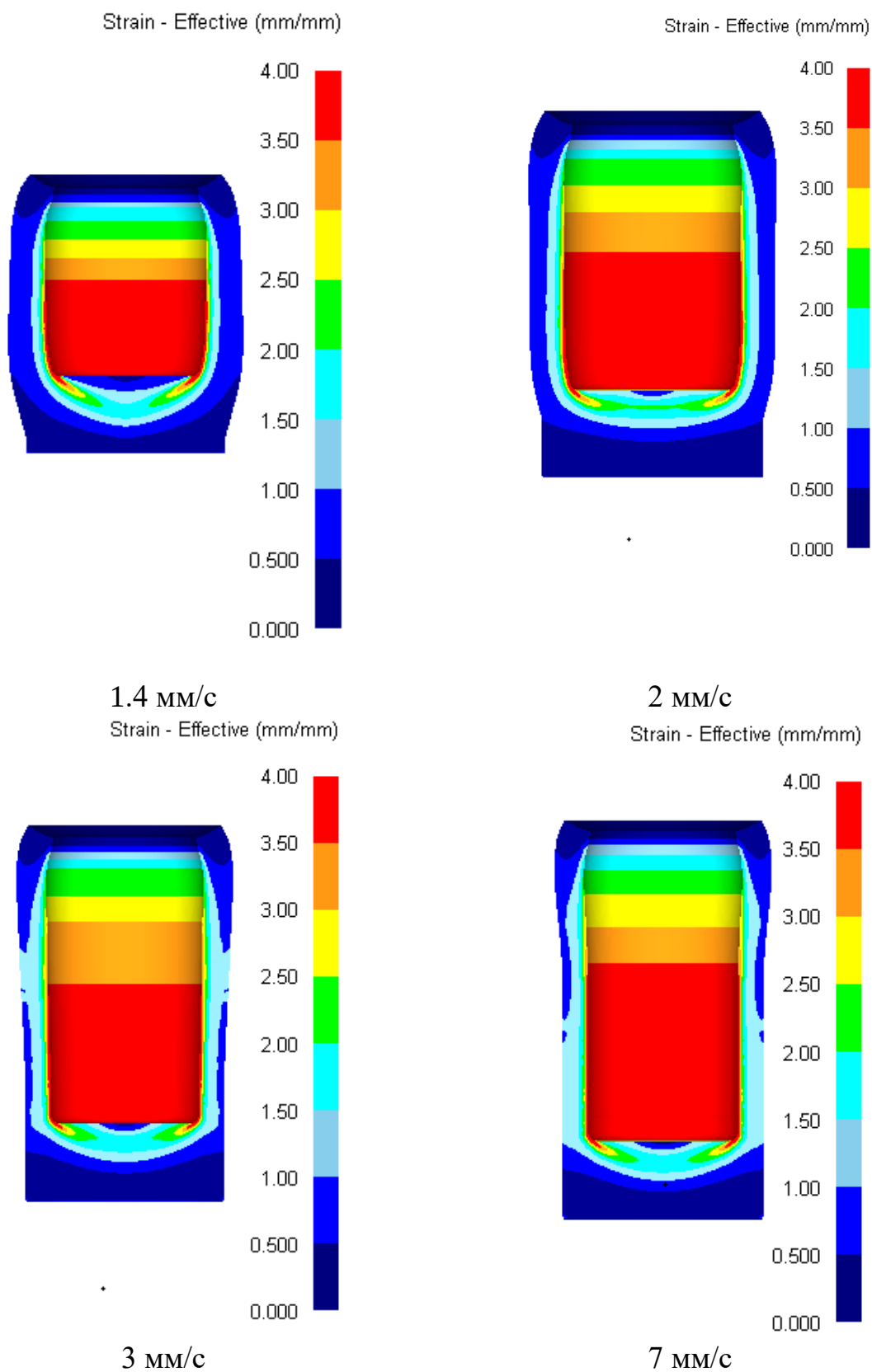


Рис. 3.10. Розподіл інтенсивності деформацій в об'ємі виробу

виробу, при великих швидкостях (більших за 3 мм/с) можливе утворення дефектів також в верхній частині стінки, але за рахунок зміни значення сили тертя на контактуючій поверхні матриці збільшуються стискаючі напруження в стінці, що суттєво зменшує ступінь використання ресурсу пластичності.

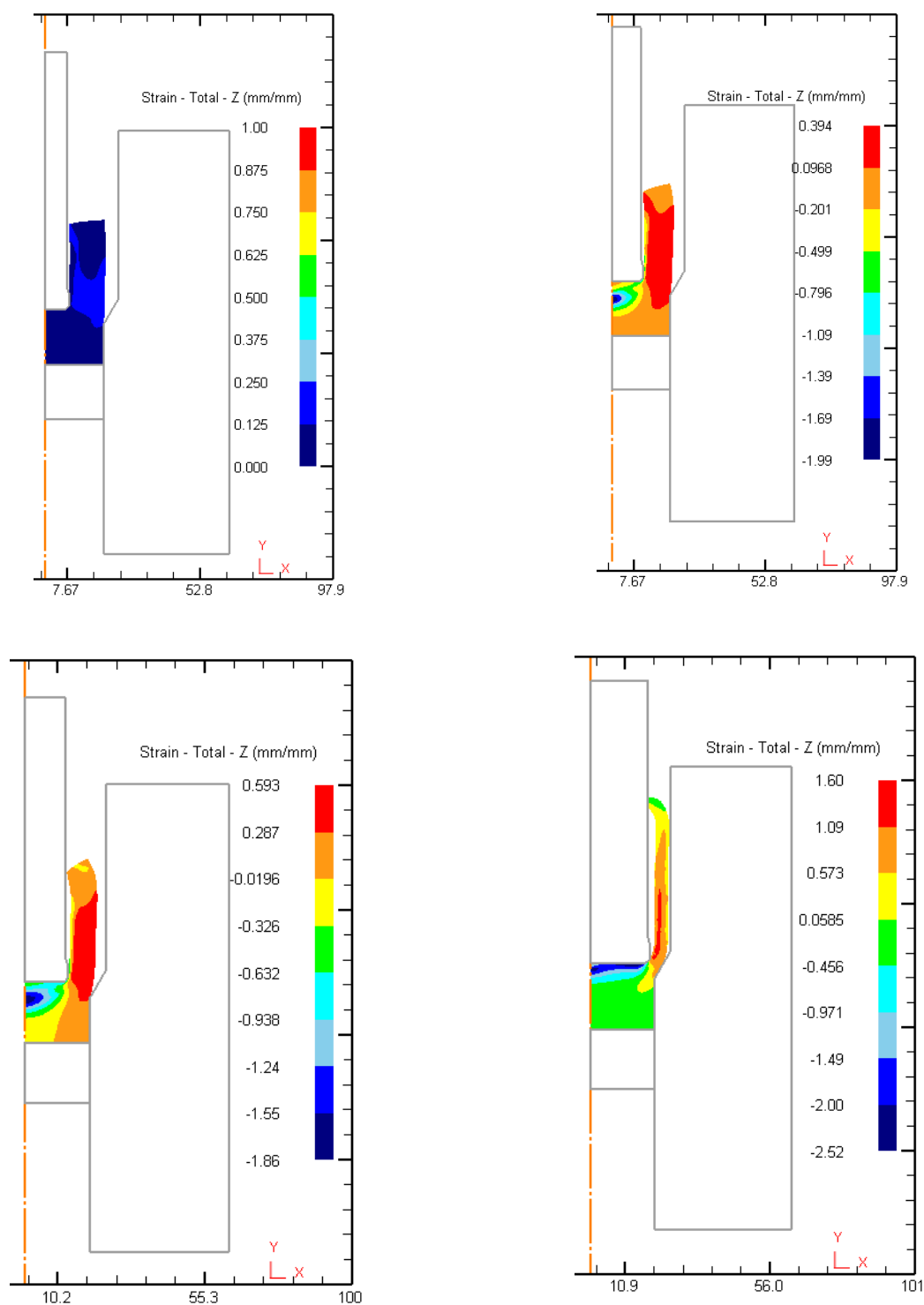


Рис. 3.11. Розподіл деформацій ϵ_z по об'єму виробу

Проаналізуємо отримані закономірності течії металу при різних швидкостях пуансону. Оцінку будемо проводити використовуючи розподіл інтенсивності деформації в об'ємі заготовки який показано на рис. 3.10. При малих швидкостях течія металу носить локальний характер.

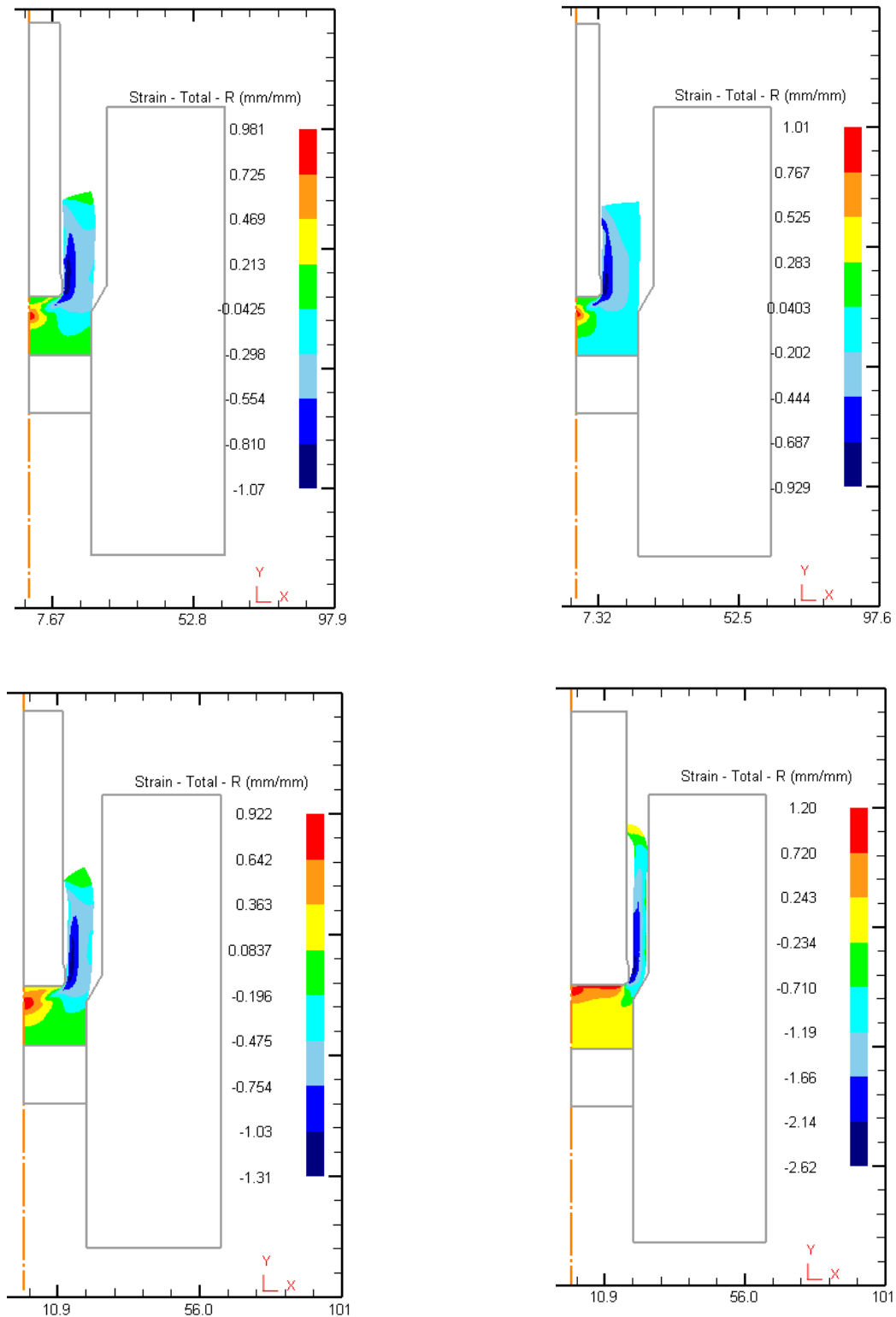


Рис. 3.11. Розподіл деформацій ϵ_p по об'єму виробу

Інтенсивне витікання безпосередньо з під пуансона спостерігається при швидкостях 2.5 мм/с зменшення призводить до течії майже всього об'єму металу заготовки в стінку

На рис. 3.11 представлено розподіл деформацій ϵ_z в об'ємі заготовки у напрямку вертикальної течії металу (співпадає з напрямком вісі Z).

При малих значення швидкості < 1.5 мм/с метал не витікає в стінку виробу(див. рис.3.5). При збільшенні швидкості інтенсивність витікання в стінку збільшується. Свого максимального значення може $\epsilon_z = 0,8$ досягає при 4 мм/с.

Розподіл деформацій в напрямку вісі ρ ϵ_ρ в об'ємі заготовки представлено на рис. 3.12. Використовуючи ці значення маємо можливість визначити як змінюється формоутворення, а саме напрям течії металу в залежності від зміни швидкості деформування, чи відбуваються зміни деформованого стану в осередку деформації. За рахунок наявності вільної бічної поверхні матеріал інтенсивно витікає в стінку виробу з під пуансона.

Інші компоненти напружень і деформацій викладено в додатку 1.

Розподіл температури показано на рис.3.12. Зростання швидкості руху пуансону призводить до збільшення температури в осередку деформації майже на 300 °С. Це має дуже велике значення при серійному та крупносерійному виробництві. Треба передбачати охолодження робочого інструменту.

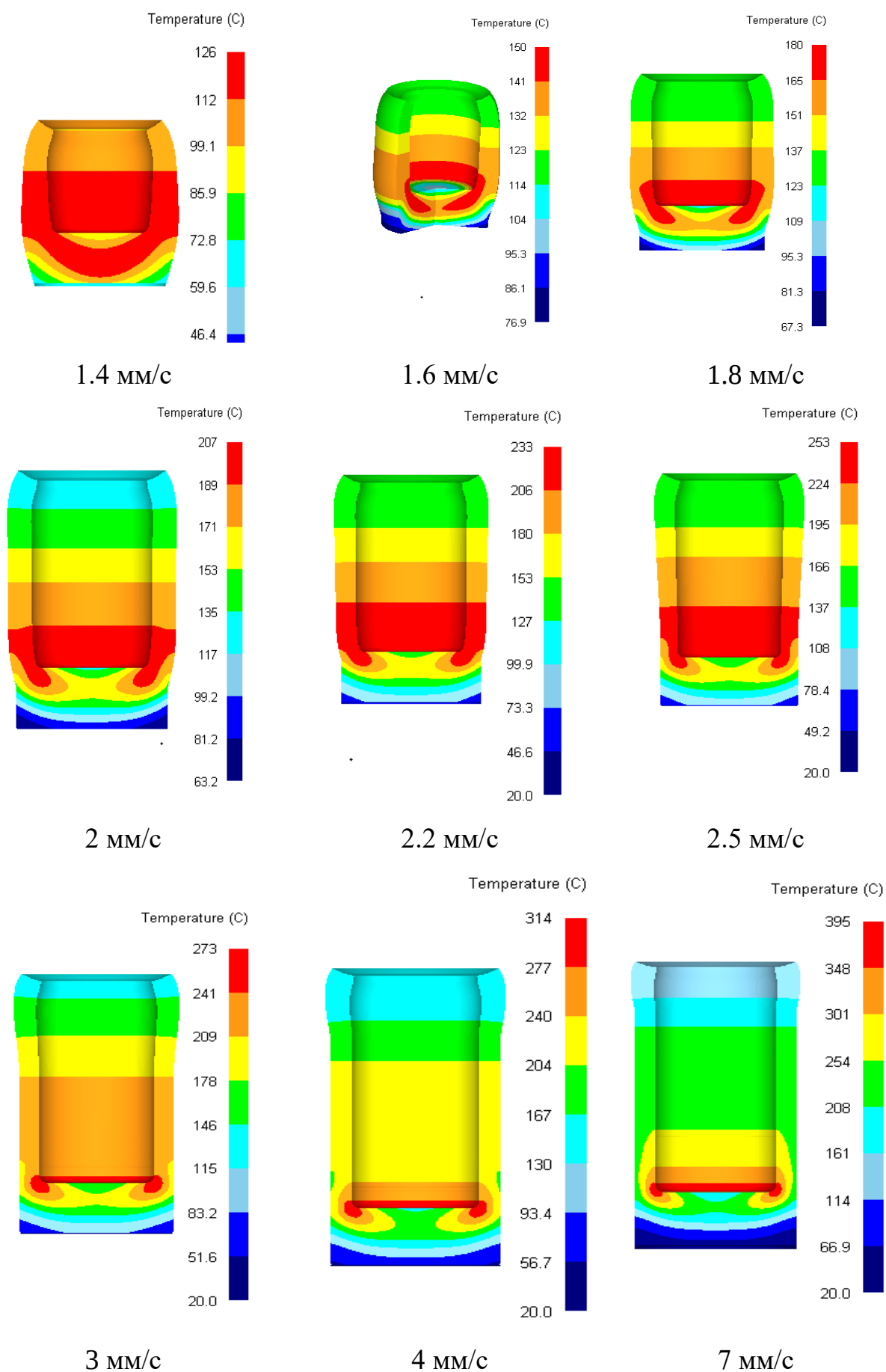


Рис.3.12 Розподіл температури по об'єму заготовки

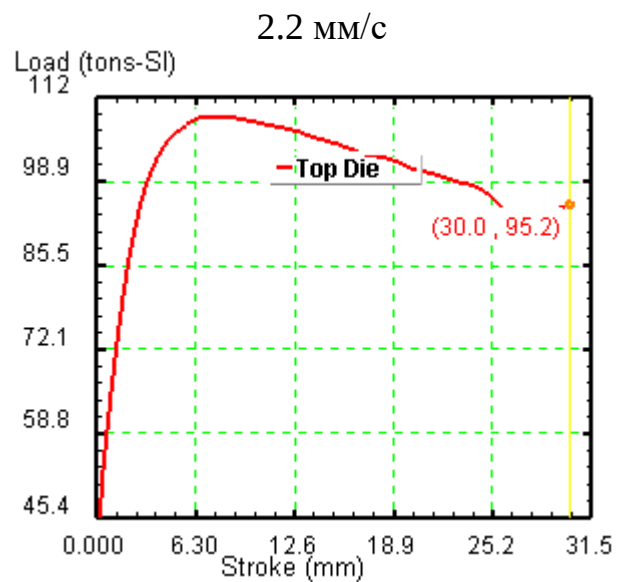
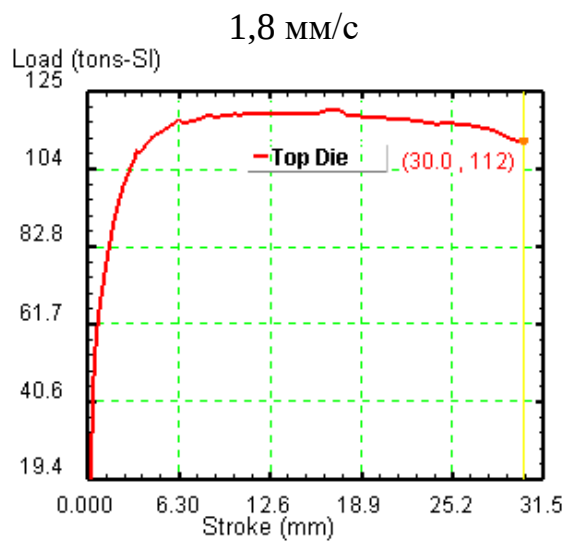
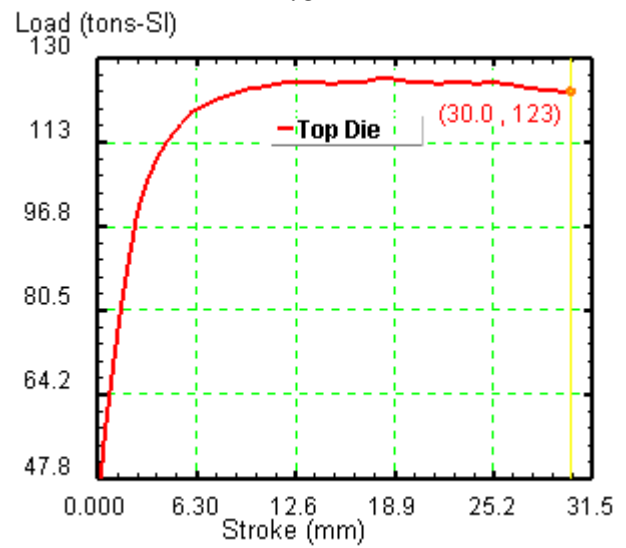
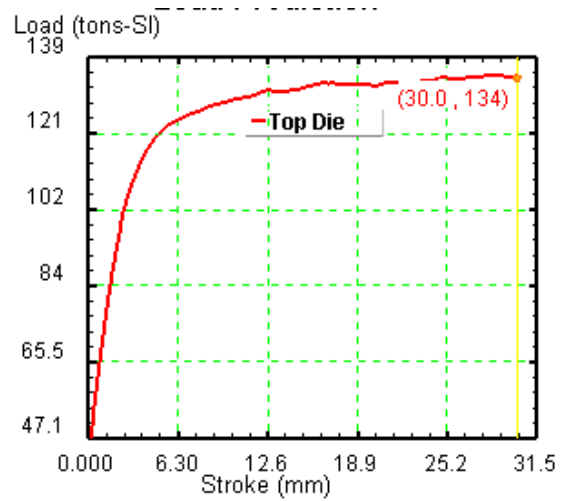
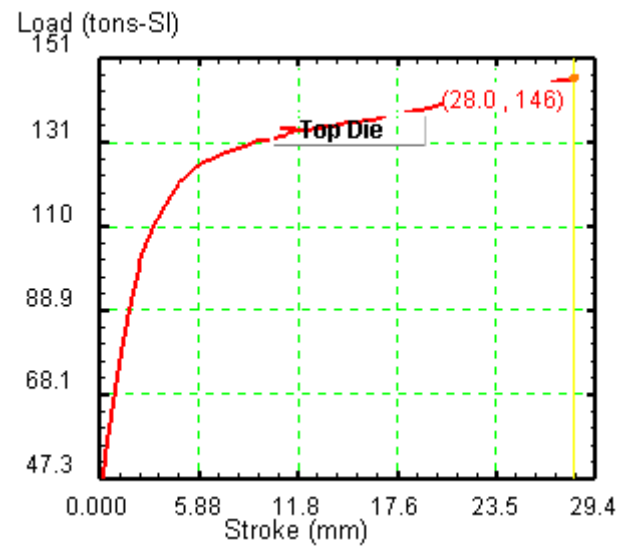
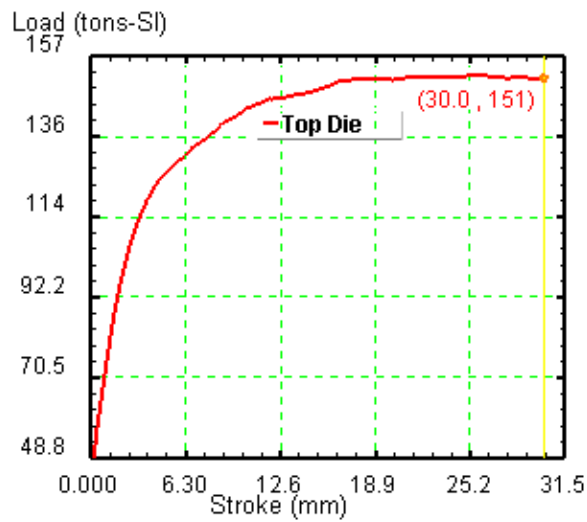


Рис.3.13 Залежність температури заготовки від швидкості пуансону
(швидкість матриці постійна 2 мм/с)

На рис.3.13 представлено залежність температури від швидкості переміщення інструменту. Як було сказано, максимальна температура 395 °C спостерігається при швидкості 7 мм/с.

3.2. Вплив швидкості матриці на параметри процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою

На рис. 3.14 показані теоретичні залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансону для різних швидкостей руху матриці для початкового положення заготовки $h=5$ мм. При збільшенні швидкості матриці, спостерігається зменшення загального зусилля видавлювання.



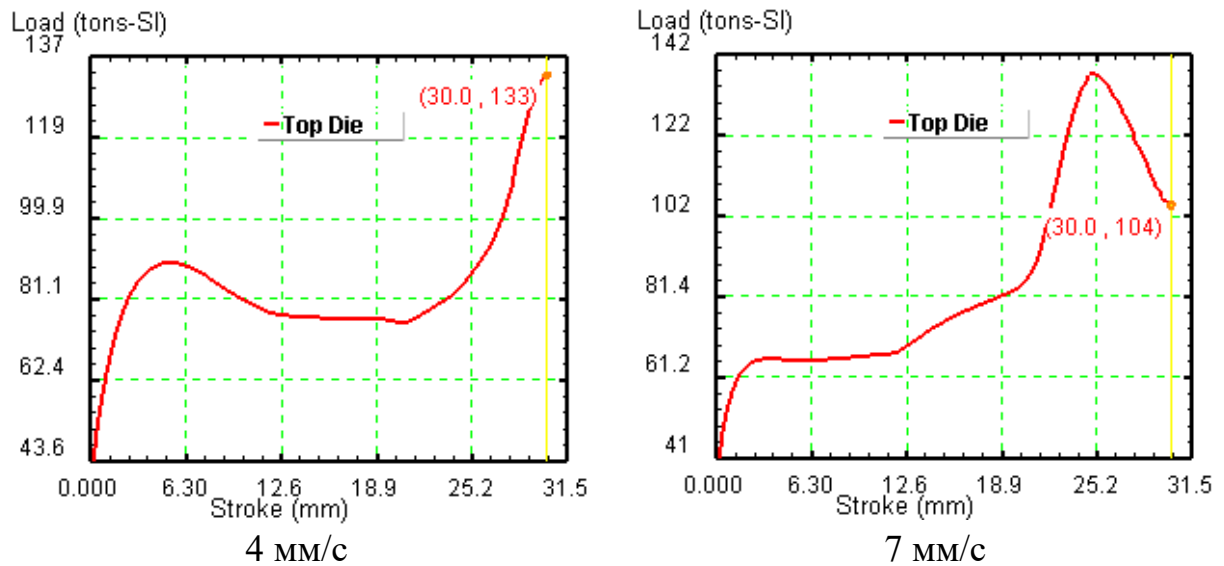


Рис. 3.14 Залежності зусилля видавлювання від швидкості матриці

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

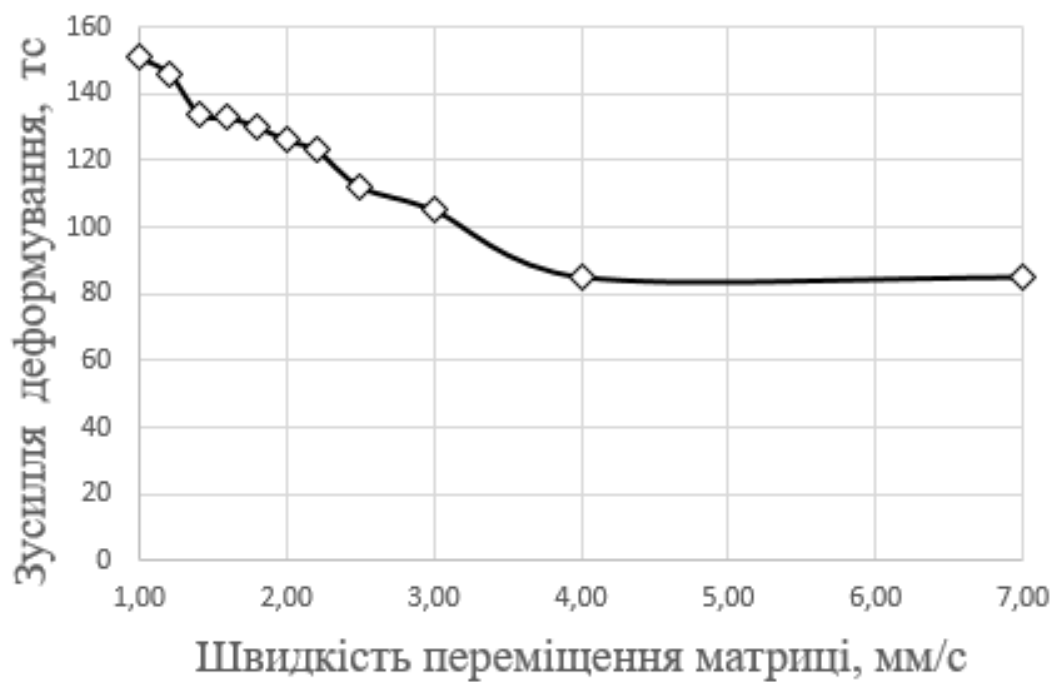
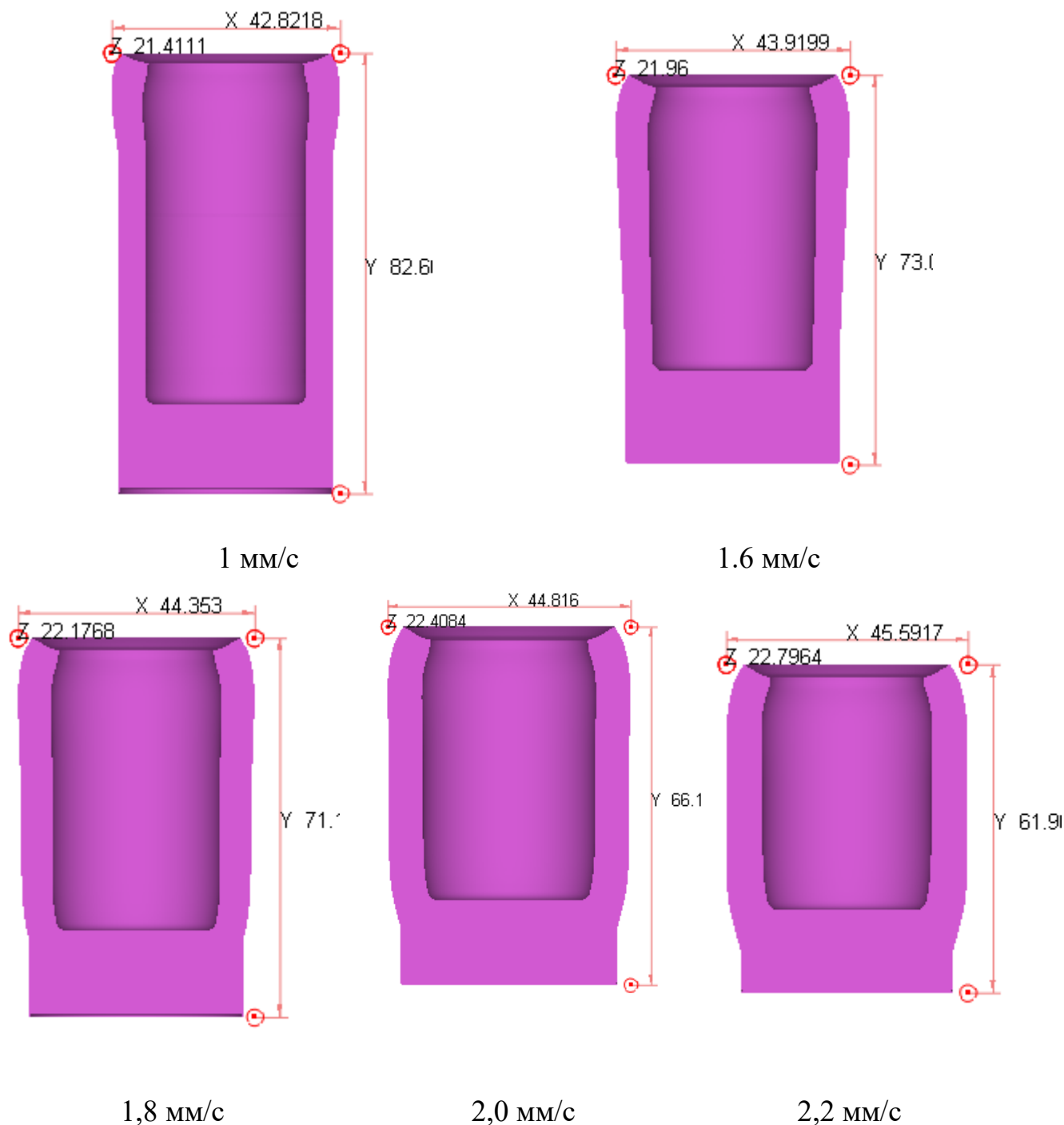


Рис. 3.15 Залежність максимального зусилля деформування від різних швидкостей руху пуансону

Геометрія виробу в залежності від швидкості матриці представлено на рис. 3.16. Видно, що при зменшенні швидкості збільшується течія металу в осьовому. Можливість заповнити повністю стінку виробу спостерігається при швидкості матриці більшою за швидкість пуансону на 40-50%. Якість стінки зменшується, утворюється різнотонність по висоті.



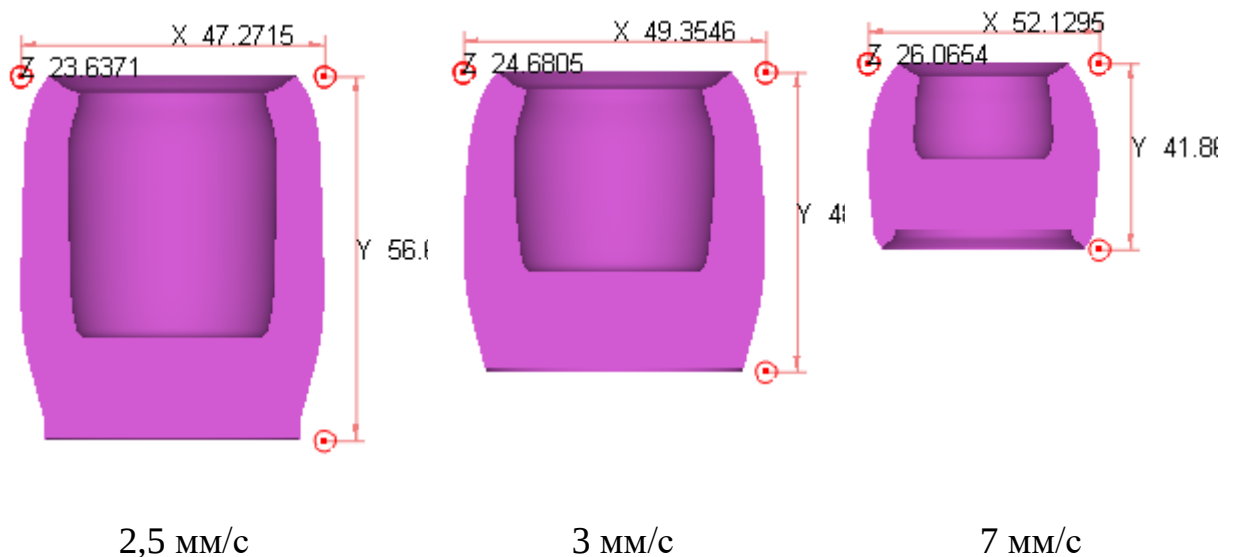


Рис. 3.16 Кінцева геометрія виробу з розмірами

При формоутворенні з такими швидкостями необхідно досягти рівномірну течію зовнішніх та внутрішніх шарів стінки порожнистого виробу. Відсутність контакту матриці з зовнішніми шарами стінки сприяє інтенсивному витіканню саме зовнішніх шарів порожнистого виробу. В той самий час внутрішні, під дією сил тертя, що виникають від контактування заготовки з калібруючим пояском пуансону, загальмовуються.

При малих швидкостях процес зворотного видавлювання з роздачою нагадує процес осаджування.

На рис. 3.17 наведено розподіл інтенсивності напружень σ_i по об'єму заготовки. Аналізуючи цей розподіл можемо: оцінити зміцнення матеріалу, якого він набуває в наслідок холодного пластичного деформування, визначити найбільше зміцнення в об'ємі заготовки та відбувається воно по всьому об'ємі. З представлених розподілів видно що найкраще (рівномірне) зміцнення протікає при видавлюванні з швидкостями пуансоном 2.5 мм. Зміцнення матеріалу майже в 2 рази.

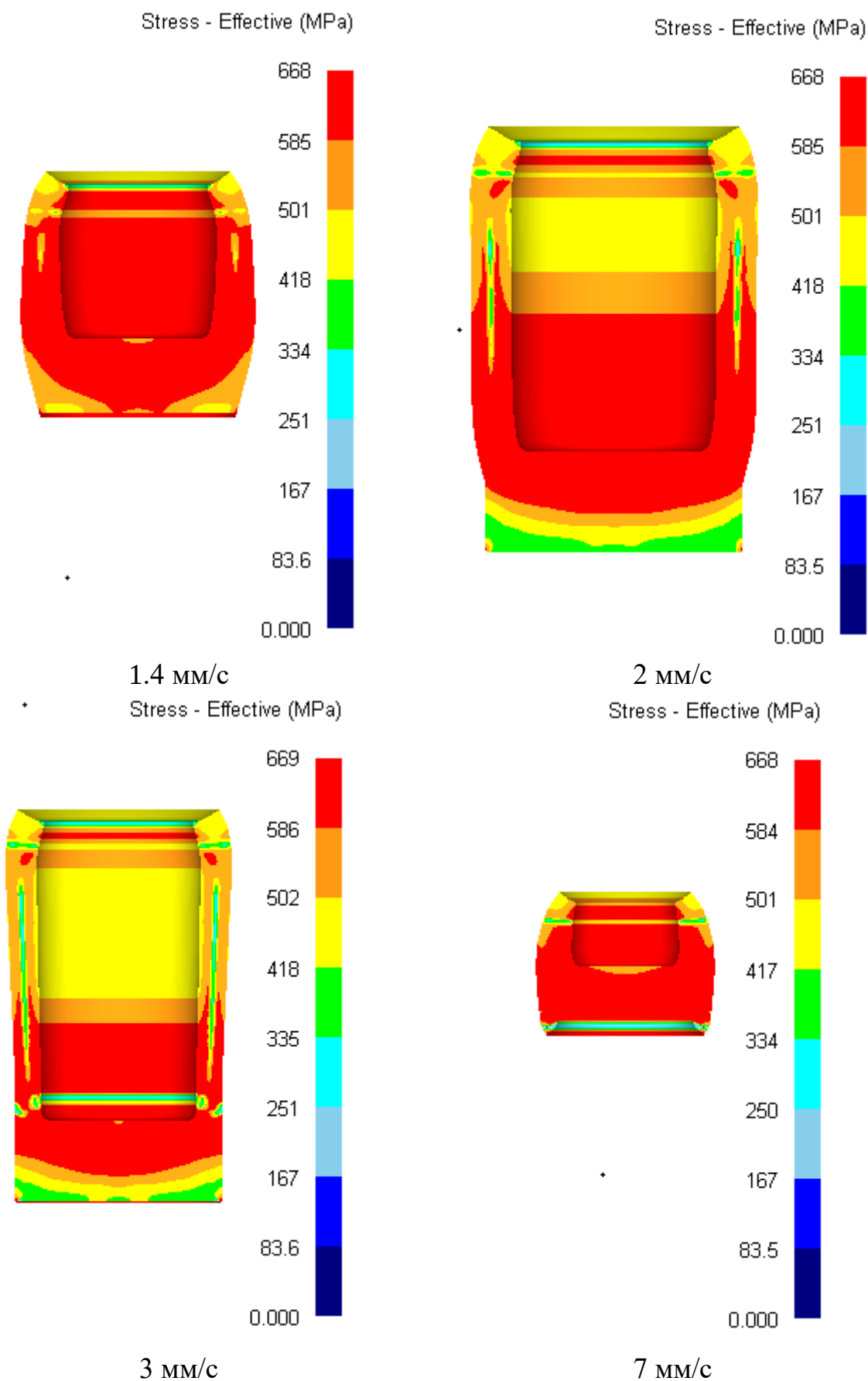


Рис. 3.17. Розподіл σ_i по об'єму виробу при максимальному зусиллі деформування

Представлено на рис.3.18 розподіл σ_{cp} по об'єму заготовки. Використовуючи ці данні розрахуємо пуансон на міцність при проектуванні штампового оснащення та оцінюванні стійкості робочого інструменту.

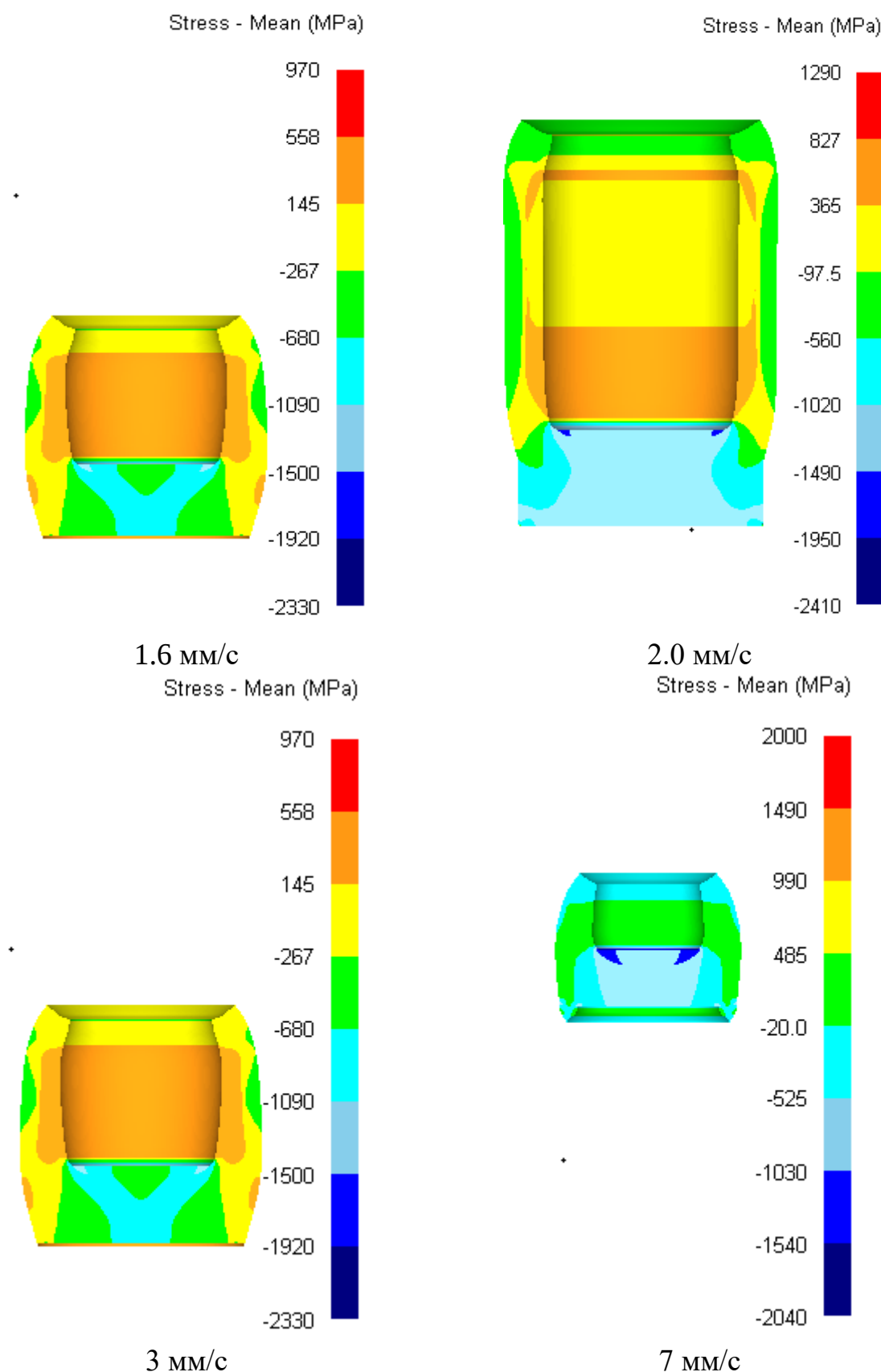
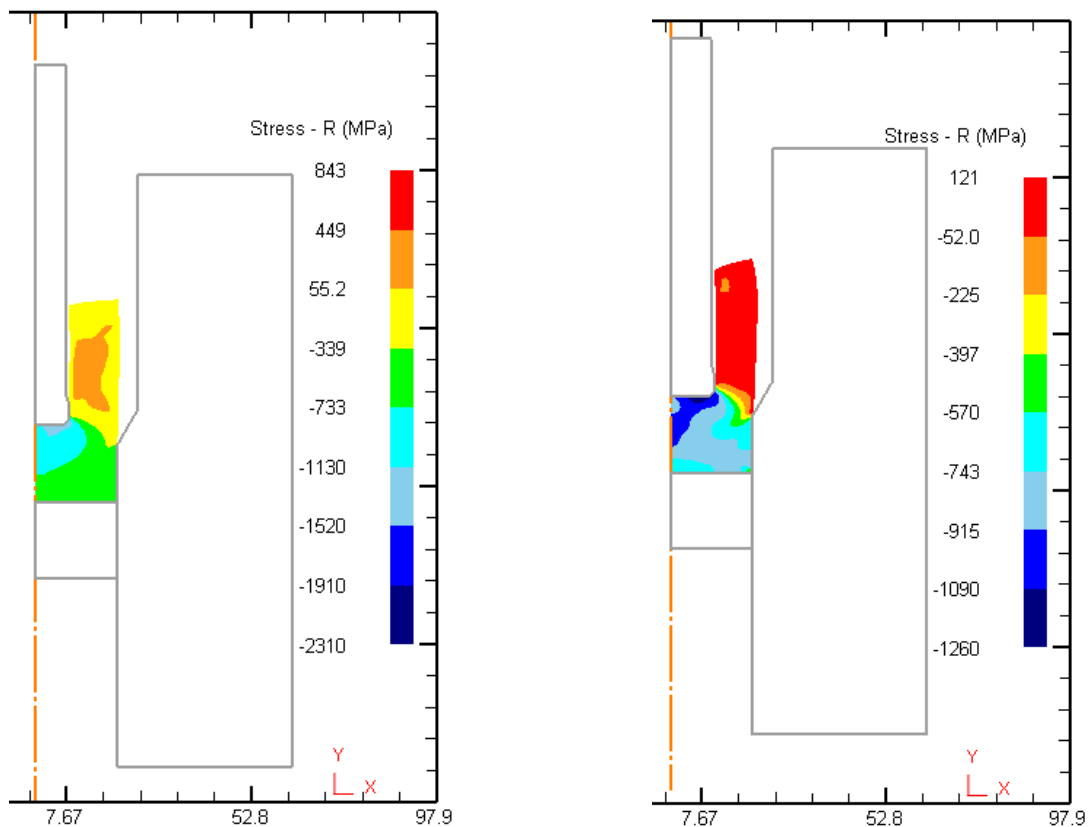


Рис. 3.18 Розподіл σ_{cp} по об'єму виробу при максимальному зусиллі

Максимальні напруження σ_p під пуансоном спостерігаються при швидкості матриці 2 мм/с досягаючи значень 1600 МПа, збільшення швидкості призводить до зміни напруженого стану в осередку деформації.

На рис.3.19 наведено розподіл σ_p в об'ємі виробу.

Цей розподіл використовують для розрахунку матриці на міцність, необхідність використання бандажів та для подальшого конструювання штампового оснащення. Максимальне значення σ_p 1200 МПа розпираючи зусилля досягають при утворенні порожнини с швидкістю руху 1 мм/с в області переходу конічної поверхні в циліндричну. Використання процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою при великих швидкостях призводить до максимального навантаження на інструмент.



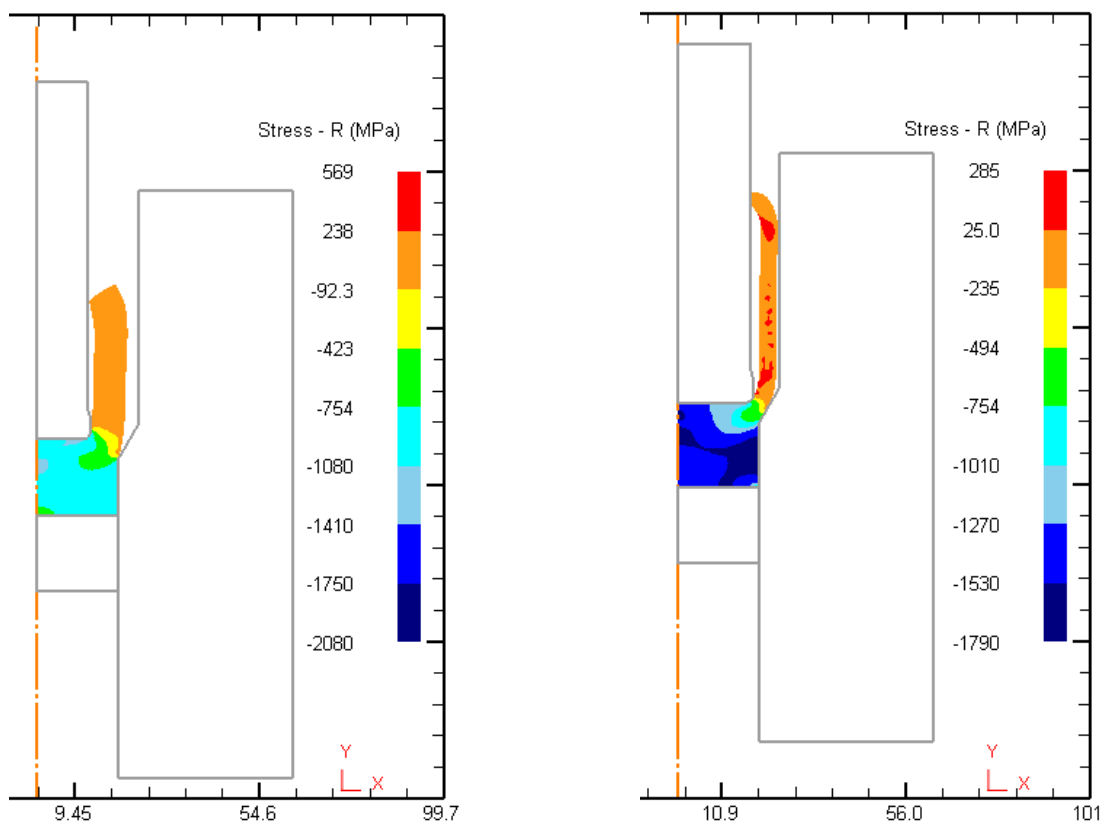


Рис. 3.19 Розподіл σ_R по об'єму виробу при максимальному зусиллі

За допомогою ступеня використання ресурсу пластичності маємо змогу оцінки можливість отримання виробу необхідної конфігурації. Розрахувати кількість переходів. Розподіл представлено на рис. 3.20

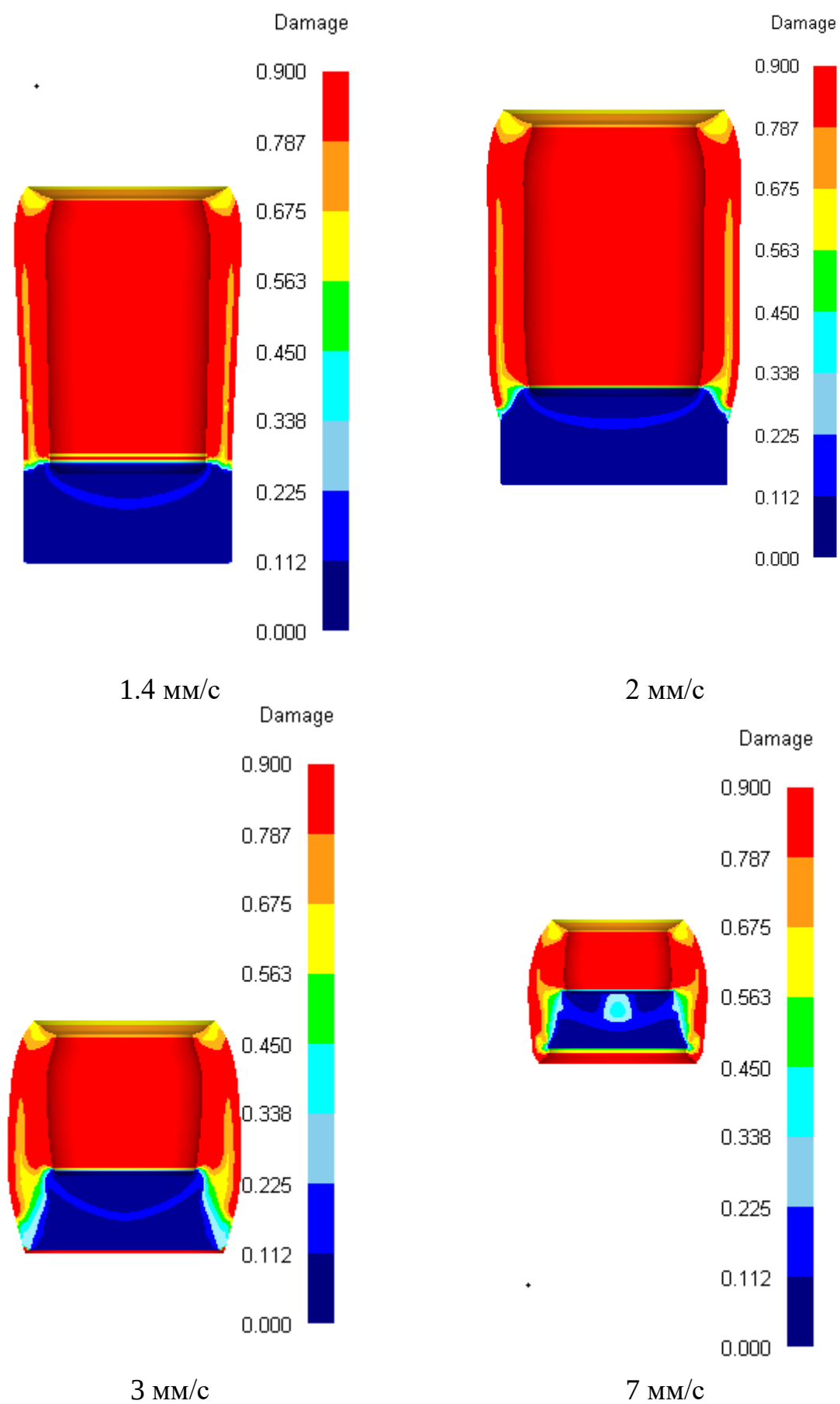


Рис. 3.20 Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ в об'ємі виробу

Аналізуючи отримані розподіли треба сказати, що при малих швидкостях можливе виникнення незначних дефектів на внутрішній стінці

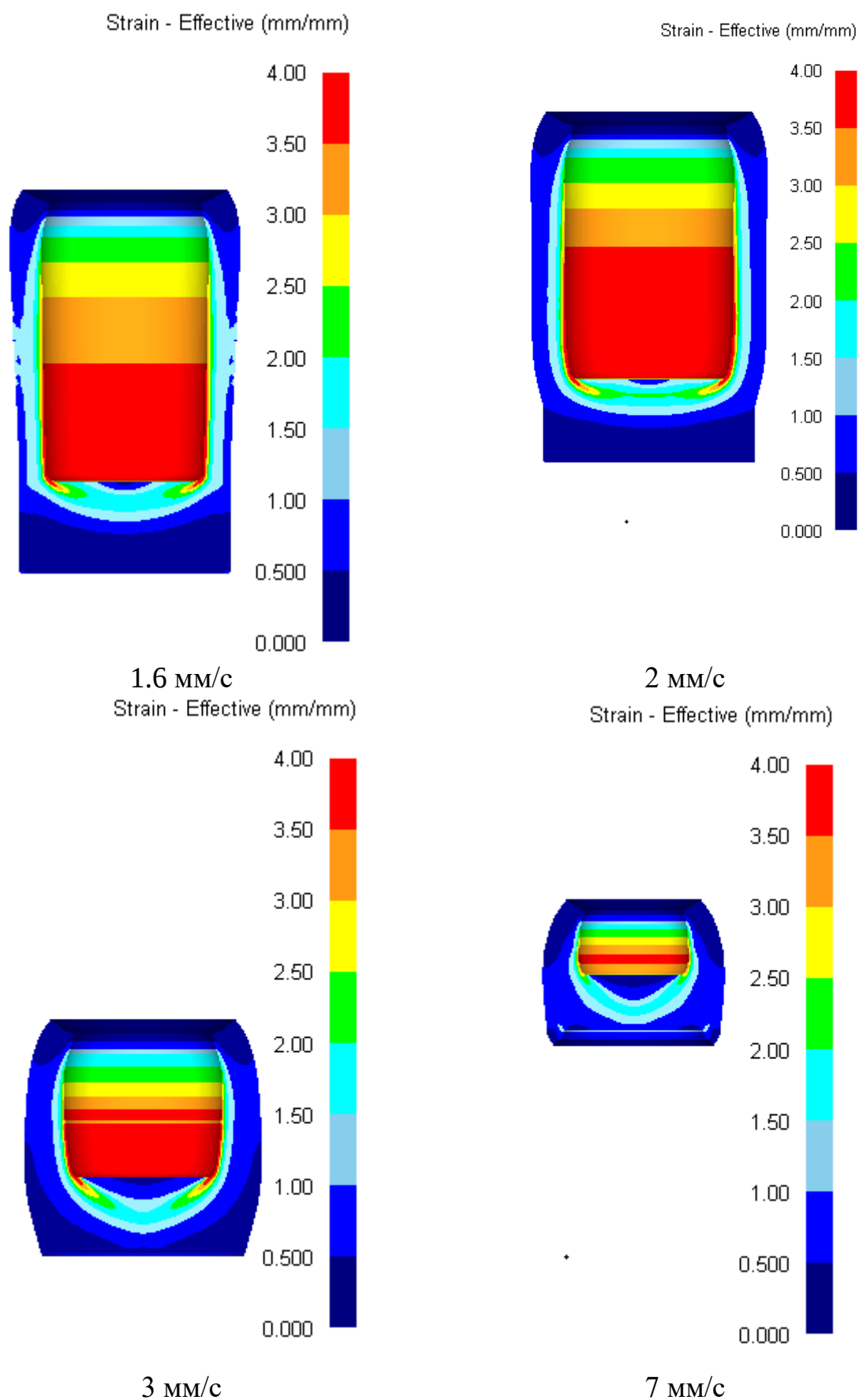


Рис. 3.21 Розподіл інтенсивності деформацій в об'ємі виробу

виробу, при великих швидкостях (більших за 3 мм/с) можливе утворення дефектів також в верхній частині стінки, але за рахунок зміни значення сили тертя на контактуючій поверхні матриці збільшуються стискаючі напруження в стінці, що суттєво зменшує ступінь використання ресурсу пластичності.

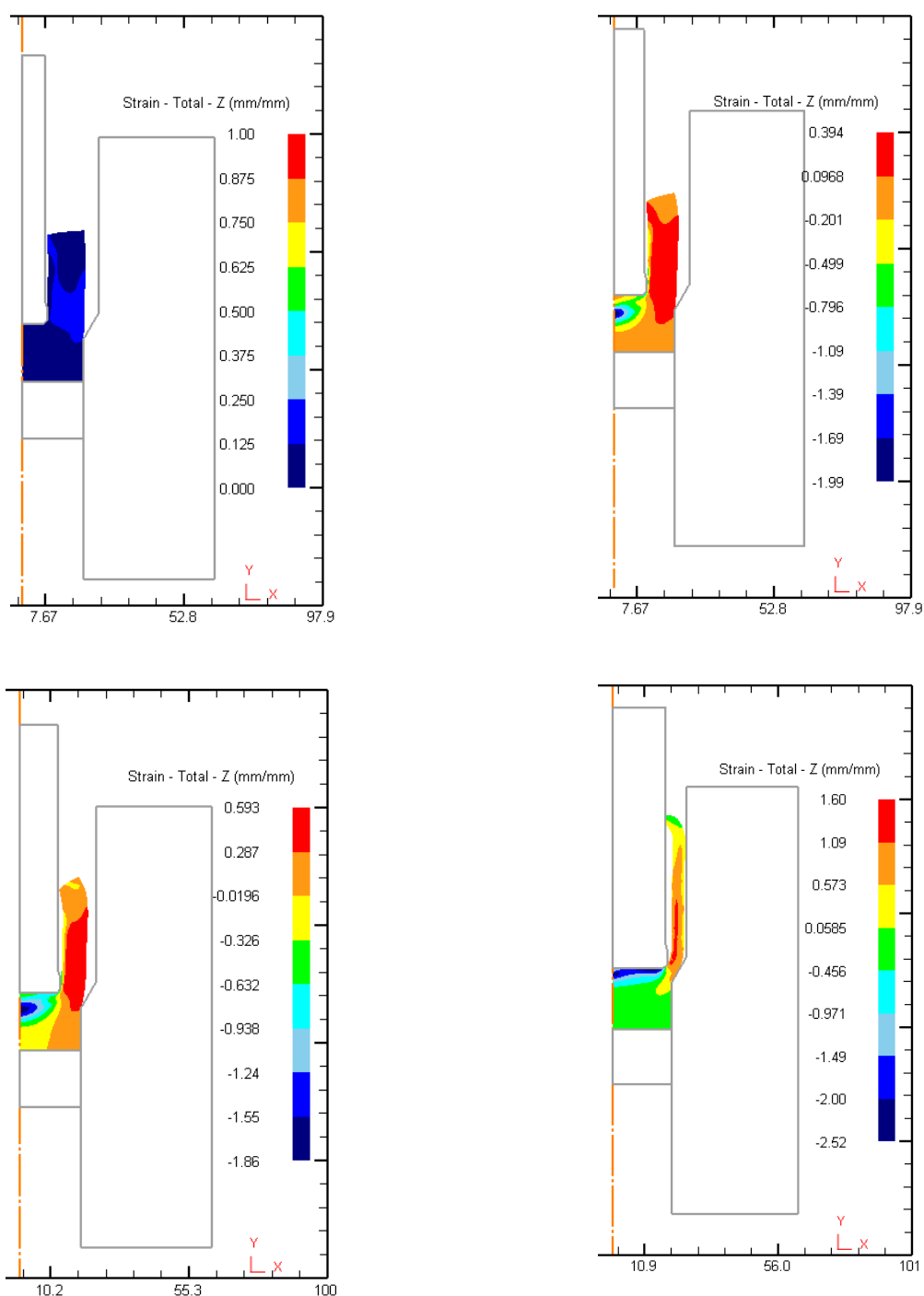


Рис. 3.22 Розподіл деформацій ϵ_z по об'єму виробу

Проаналізуємо отримані закономірності течії металу при різних швидкостях пуансону. Оцінку будемо проводити використовуючи розподіл інтенсивності деформації в об'ємі заготовки який показано на рис. 3.21. При малих швидкостях течія металу носить локальний характер.

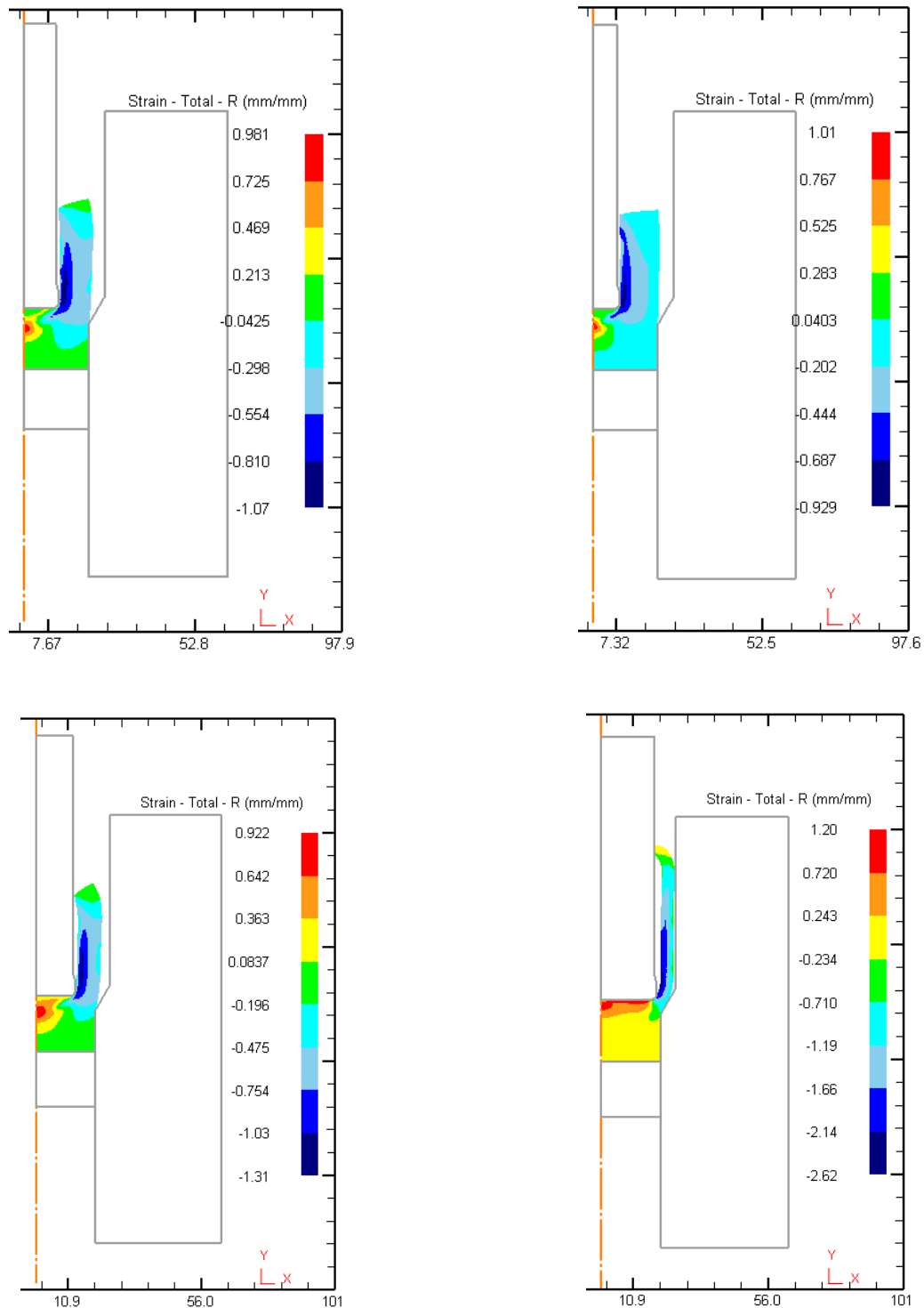


Рис. 3.22. Розподіл деформацій ϵ_p по об'єму виробу

Інтенсивне витікання безпосередньо з під пуансона спостерігається при швидкостях 2.5 мм/с зменшення призводить до течії майже всього об'єму металу заготовки в стінку

На рис. 3.22 представлено розподіл деформацій ϵ_z в об'ємі заготовки у напрямку вертикальної течії металу (співпадає з напрямком вісі Z).

При малих значення швидкості < 1.5 мм/с метал не витікає в стінку виробу (див. рис.3.21). При збільшенні швидкості інтенсивність витікання в стінку збільшується. Свого максимального значення може $\epsilon_z = 0,8$ досягає при 4 мм/с.

Розподіл деформацій в напрямку вісі ρ ϵ_ρ в об'ємі заготовки представлено на рис. 3.23. Використовуючи ці значення маємо можливість визначити як змінюється формоутворення, а саме напрям течії металу в залежності від зміни швидкості деформування, чи відбуваються зміни деформованого стану в осередку деформації. За рахунок наявності вільної бічної поверхні матеріал інтенсивно витікає в стінку виробу з під пуансона.

Інші компоненти напружень і деформацій викладено в додатку 1.

Розподіл температури показано на рис.3.24. Зростання швидкості руху матриці призводить до зменшення температури в осередку деформації майже на 100 °С. Це має дуже велике значення при серійному та крупносерійному виробництві. Маємо можливість уникати охолодження робочого інструменту.

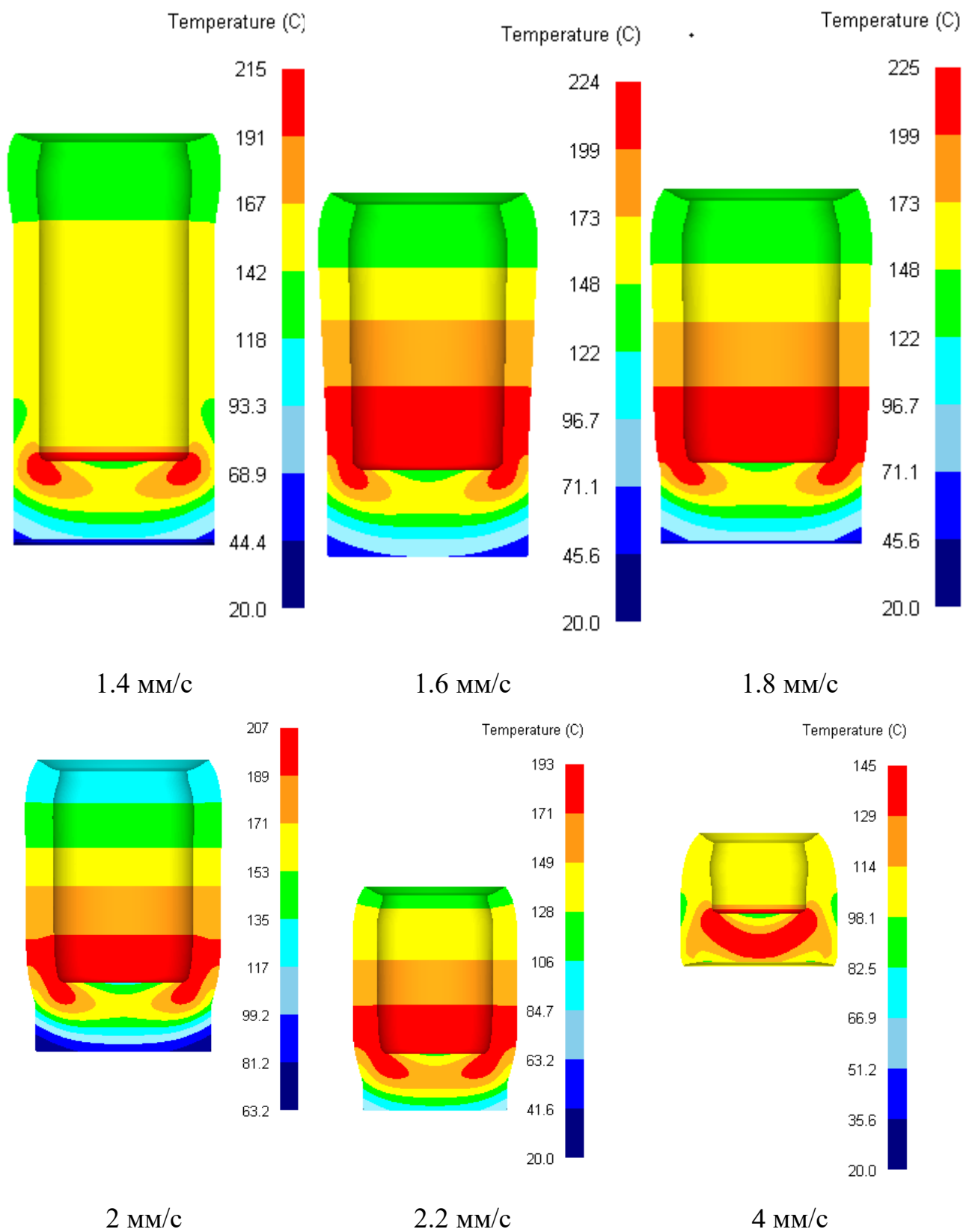


Рис.3.24 Розподіл температури по об'єму заготовки



Рис.3.25 Залежність температури заготовки від швидкості матриці (швидкість пуансону постійна 2 мм/с)

На рис.3.25 представлено залежність температури від швидкості переміщення інструменту. Як було сказано, максимальна температура 225 °C спостерігається при швидкості 1.8-2 мм/с.

Інші компоненти напружень і деформацій викладено в додатку 1.

Висновки

Чисельними експериментами було встановлено вплив швидкості пуансону та матриці на параметри процесу зворотного холодного видавлювання з роздачою з використанням рухомої матриці.

1. При збільшенні швидкості деформування спостерігається зростання загального зусилля деформування за рахунок повного контактування осередка деформації з робочим інструментом. Максимального значення досягається при $v = 38$ мм та склало 7980 кН. 9
2. Збільшення швидкості матриці дозволяє отримати необхідну геометрію виробу. Але при швидкостях більших в 2 рази ніж швидкість пуансону можливе утворення дефектів у виробі (спостерігається максимальне використання ресурсу пластичності).
3. Питомі зусилля на інструменті своїх максимальних значень досягають при деформуванні з швидкістю пуансона 7 мм/с.

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВИОРУ СПІВВІДНОШЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ

На основі проведених чисельних експериментів розробимо технологічне оснащення для отримання порожнистих виробів зворотним холодним видавлюванням з роздачою з рухомим пуансоном та матрицею.

Схема штампу показано на рис. 4.1.

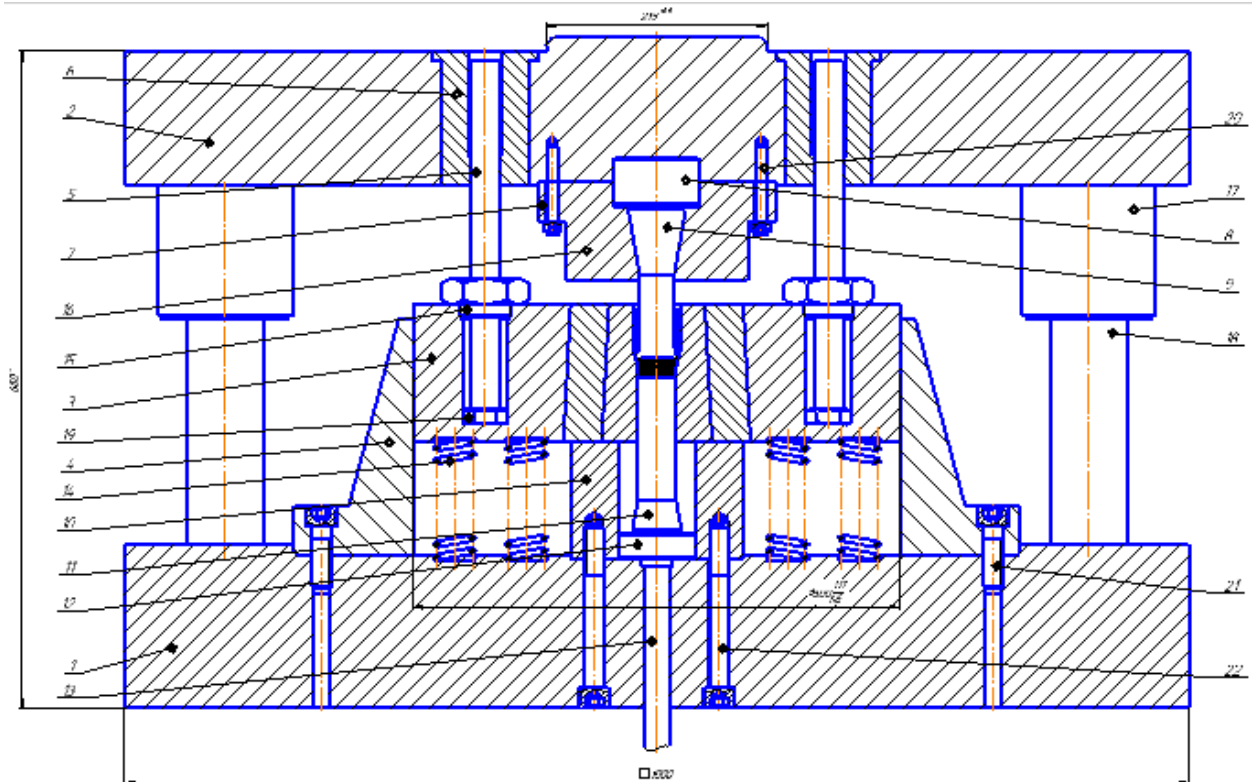


Рис.4.1 Схема штампу для зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів

Штам виготовляється з двох частин. В нижній частині штампу розташовуємо рухомий пакет штампу 1 що складається з бандажованої матриці. В свою чергу бандажована матриця буде направляється по кільцю 5, що кріпиться до нижньої плити штампу 4 за допомогою гвинтів 21. Нижнє граничне положення матриці регулюється висотою опорного кільця 8, що

теж закріплене на нижній плиті гвинтами 22. В ньому розташований виштовхувач 11 що спирається на підкладну плити 12.

У верхній частині конструкції даного штампа, за допомогою гвинтів 20, до верхньої плити 2 кріпиться пуансонотримач 7, в ньому розташований пуансон 9, який спирається на опорну плиту 8. Враховуючи данні з чисельних експериментів, а саме - зусилля виймання пуансону з виробу. В даній конструкції знімач не будемо використовувати. Рух бандажованої матриці здійснюється за допомогою тяг 5.

Штамп працює таким чином: при верхньому положенні верхньої плити матриця 1 знаходиться в верхньому положенні. Завантажуємо заготовку з нанесеним змащенням в робочу зону матриці та вона спирається на виштовхувач 11.

При робочому ході пресу верхня плита 2 з закріпленими в ній частинами штампу рухається вниз, як тільки відбудеться контакт пуансона з заготовкою тяги 5, що налаштовані таким чином, щоб контакт їхньої опорної частини з рухомою матрицею відбувся одночасно з контактом пуансона та заготовкою. При подальшому русі вниз відбувається процес зворотного видавлювання порожнини з роздачою. Матриця та пуансон рухаються з однаковою швидкістю при такій конструкції штампу. Для реалізації руху з різними швидкостями необхідно використовувати інше обладнання або додавати додаткові елементи конструкції штампа. Робочий хід залежить від необхідної глибини порожнини, регулювати яку можна змінюючи виштовхувач та опорну втулку з пуансон. Гальмування матриці здійснюється за допомогою пружин 13.

Виймання пуансона з готового виробу та розкривання штампу здійснюється при ході повзуна вверх. Тяги 5 повертають матрицю в вихідне положення. Виймання заготовки з матриці відбувається за допомогою виштовхувача 11, який приводиться у рух виштовхувачем пресу.

Враховуючи з отримані результати по силовим режимам, габаритним розмірам штампу маємо можливість встановлювати на прес ДБ2436

номінальним зусиллям 4000 кН для реалізації руху пуансону та матриці з однаковою швидкістю.

Основні елементи штампу було розроблено за рекомендаціями [20].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Здійснено аналітичний огляд публікацій в яких розглядаються процеси зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою. Оскільки використання схеми видавлювання з рухомою матрицею (напрямок руху матриці співпадає з напрямком руху пуансона) дозволяє знизити питомі напруження до 30% але відсутні данні по співвідношенню швидкостей руху матриці та пуансону обираємо для дослідження цей напрям;
2. Основними напрямками досліджень для цієї схеми було обрано визначення закономірностей впливу швидкості переміщення матриці та пуансону;
3. З використанням систем CAD/CAE DEFORM 2D і 3D виконано чисельне моделювання процесу зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою, встановлено що найбільший вплив на процес має швидкість пуансону. Зменшення на 40-50% відсотків призводить до зменшення температури в осередку деформації, зменшенню зусилля видавлювання, збільшенню витікання в радіальному напрямку, але в свою чергу можливе утворення дефектів на зовнішній поверхні виробу;
4. Розроблені рекомендації щодо співвідношення швидкостей робочого інструменту. Збільшення швидкості пуансону більше ніж 4 мм/с не доцільне, в зв'язку з суттєвим зростанням загального зусилля деформування майже в 2 рази (з 92 тс до 170 тс) та температури в осередку деформації з 145 °С до майже 400 °С. Оптимальним є межі співвідношення швидкостей пуансону та матриці 0.8-1.2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В.А. Евстратов. - Харьков Виша школа, 1987,- 142 с.
2. Хыбеяги А.И. Совершенствование обработки формообразующих полостей прессформ и штампов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1968. -№9. — С.17—21.
3. Евстифеев В.В., Подколзин Г.П. Методика построения геометрии инструмента при выдавливании конических стаканов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1978. — №3. — С. 11—13.
4. Алиева Л.И. Способы снижения сил деформирования при холодном выдавливании / Алиева Л.И., Чучин О.В., Гнездилов П.В, // Вісник ХНТУ серія Інженерні науки, №1 (56), 2016р. с. 18-25.
5. Алиев И.С. Технологические процессы выдавливания с раздачей / И.С. Алиев, О.В. Чучин, А.А. Носаков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр.-Краматорськ: ДДМА, 2003.-С. 328-334.
6. Овчинников А.Г. Основы теории холодного выдавливания на прессах / А.Г. Овчинников. - М: Машиностроение, 1987. — 205 с.
7. Чучин О.В., Алиева Л.И. Комбинированное последовательное радиально-прямое выдавливание полых деталей // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Сб. науч. тр. - Краматорск: ДГМА, 2002. - С. 352-355.
8. Lee Y.S. The forming characteristics of radial-forward extrusion /

- Y.S. Lee, S.K. Hwang, Y.S. Chang, B.B. Hwang // Journal of Materials Processing Technology. -2001. -№113. -С. 136-140.
9. Ebrahimi R. An analytical approach for radial-forward extrusion process / R. Ebrahimi, M. Reihanian, M.M. Moshksar // Materials and Design. - 2008. -№ 29. - С. 1694-1700.
 - 10.Алиева Л.И. Технологические возможности процессов радиально-прямого выдавливания с раздачей / Л.И. Алиева, О.В. Чучин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы XII Всероссийской НПК. Том 1. Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСиС. 2015.-С. 148-152.
 - 11.Алиева Л. И. Способы снижения сил деформирования при холодном выдавливании / Л. И. Алиева, О. В. Чучин, П. В. Гнездилов // Вісник Херсонського національного технічного університету. - 2016. - № 1. - С. 18-25. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2016_1_4
 - 12.Ренне И.П. Технологические возможности процесса свободного выдавливания (без матрицы) полых деталей / И.П. Ренне, А.И. Сумарокова // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987,- №6.-С. 25-26.
 13. Алієва Л.І. Енергосилові параметри процесів холодного видавлювання порожнистих деталей / Л.І, Алієва, Д.О, Картамишев, К.Д. Махмудов, О.В. Чучин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, №30(1306), 2018
 - 14.Алиева Л. И. Анализ процесса последовательного радиально-прямого выдавливания методом кинематических модулей / Л.И. Алиева, О. В. Чучин // Научный Вестник ДГМА. - Краматорск : ДГМА, 2015.-№ 3 (18Е). - С. 5-21.
 - 15.Алиева Л. И., Картамышев Д. А., Грудкина Н. С., Чучин О. В.

- Технологические процессы изготовления полых деталей на основе способов комбинированного выдавливания // Обработка материалов давлением. -2018. -№ 1 (46). -С. 22-27.
- 16.Калюжный В. Л. Варианты холодного выдавливания осесимметричных полых изделий с выступом на донной части со стороны полости / В. Л. Калюжный, А. Н. Потятиник // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Х. : НТУ «ХПИ», 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 3-10. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25
- 17.Калюжный В.Л, Аналіз схем холодного видавливання вісесиметричних порожнистих виробів / В.Л. Калюжный, А.М. Потятиник // Наукові нотатки Міжвузівський збірник. Луцький НТУ, 2017, № 59, - С. 137-143
18. Калюжный В.Л. Сравнительный анализ процессов обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей изделий с полостью постоянного диаметра / В.Л. Калюжный, Л.И. Алиева, И.П. Куликов // Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. - №4(37). – С. 87-92
19. Калюжный В.Л. Определение усилий извлечения пуансона из сдеформированной заготовки и выталкивания заготовки из матрицы при холодном выдавливании полых изделий с разной степенью деформации / В.Л. Калюжный, Л.И. Алиева, В.Н. Горностай // Усовершенствование процессов и оборудования для обработки давлением в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2016. - №1(42). – С. 90-100.
- 20.<http://mpm-rp.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/02/THOSH.pdf>

ДОДАТКИ