

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. А. Огородніков, І. Ю. Кириця, В. Є. Перлов

**МЕХАНІКА ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО
ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ
ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗАГОТОВОК
З ГЛУХИМ ОТВОРОМ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 621.7.043

ББК 34.54

О-39

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 27.03.2014 р.)

Рецензенти:

В. А. Тітов, доктор технічних наук, професор

І. О. Сивак, доктор технічних наук, професор

В. Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор

Огородніков, В. А.

О-39 Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : монографія / В. А. Огородніков, І. Ю. Кириця, В. Є. Перлов. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 164 с.

ISBN 978-966-641-636-3

В монографії досліджені і удосконалені технологічні процеси зворотного видавлювання циліндричних виробів типу «стакан» з використанням гідропідпору та формування внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах. Робота направлена на розв'язання актуальних задач машинобудівного виробництва – забезпечення якості готових виробів та підвищення коефіцієнту використання металу.

Для інженерно-технічних і наукових працівників, що займаються обробкою металів тиском, викладачів, аспірантів і студентів.

УДК 621.7.043

ББК 34.54

ISBN 978-966-641-636-3

© В. Огородніков, І. Кириця, В. Перлов, 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ	
3 МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК З ГЛУХИМ ОТВОРОМ	8
1.1 Зворотне видавлювання і штампування в закритих штампах	8
1.2 Формування внутрішніх шліцьових поверхонь в отворах....	17
1.3 Напружено-деформований стан в процесах холодного пластичного деформування	24
1.3.1 Напружено-деформований стан при розтягу циліндричних зразків, що утворюють шийку	25
1.3.2 Напружено-деформований стан при зворотному видавлюванні	30
1.3.3 Напружено-деформований стан при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь в отворах	33
1.4 Оцінка деформованості заготовок в процесах холодного пластичного деформування	39
1.4.1 Міра пластичності.....	40
1.4.2 Інваріантні характеристики напруженого стану	40
1.4.3 Критерії руйнування.....	42
2 МЕТОДИКА І МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	49
2.1 Експериментально-розрахункові методи визначення напружено-деформованого стану (метод сіток, метод твердості)....	49
2.1.1 Метод ділільних сіток	49
2.1.2 Метод твердості	53
2.2 Побудова діаграм пластичності.....	57
2.3 Уточнений розрахунок параметрів напружено- деформованого стану в області локалізації деформації при розтягу. Особливості побудови діаграм пластичності в області локалізації деформації при розтягу	60
3 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН	
І ДЕФОРМОВАНІСТЬ ЗАГОТОВОК В УМОВАХ	
ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ	
ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ ТИПУ «СТАКАН»	
З ГЛУХИМ ОТВОРОМ	77
3.1 Математична модель процесу зворотного видавлювання	77
3.1.1 Визначення компонент тензора швидкостей деформацій	79
3.1.2 Визначення компонент тензора напружень	81
3.1.3 Визначення схеми напруженого стану.....	88
3.1.4 Оцінка використаного ресурсу пластичності	92

3.2 Експериментальні дослідження процесу зворотного видавлювання при формуванні заготовок з глухим отвором	93
3.2.1 Формування технологічного паспорту матеріалу (крива течії, діаграма пластичності, градувальні графіки)	93
3.2.2 Зворотне видавлювання без гідропідпору та з гідропідпором	98
3.3 Визначення напружено-деформованого стану в процесах зворотного видавлювання (з урахуванням та без урахування гідропідпору)	103
3.4 Оцінка деформованості заготовок при зворотному видавлюванні	106
4 НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН І ДЕФОРМОВАНІСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ ФОРМУВАННІ ВНУТРІШНІХ ШЛІЦЬОВИХ ПОВЕРХОНЬ З ГЛУХИМ ОТВОРОМ	
4.1 Експериментальні дослідження процесу формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором	111
4.1.1 Формування технологічного паспорту матеріалу (крива течії, діаграма пластичності, градувальні графіки)	111
4.1.2 Формування заготовки з метою отримання найраціональнішої схеми видавлювання	114
4.1.3 Поетапне формування заготовки	129
4.2 Визначення напружено-деформованого стану при поетапному формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь	135
4.3 Оцінка деформованості заготовок при поетапному формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах	138
5 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ГОТОВИХ ВИРОБІВ	
5.1 Технологічний процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором	143
5.2 Технологічний процес зворотного видавлювання при формуванні циліндричних виробів типу «стакан» з глухим отвором	143
5.3 Рекомендації з удосконалення процесів пластичної деформації при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах	145
5.4 Рекомендації з удосконалення процесів зворотного видавлювання	146
5.5 Промислове впровадження результатів досліджень	149
ВИСНОВКИ	151
ЛІТЕРАТУРА	154

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- η – показник напруженого стану;
 σ – середнє (гiдростатичне) напруження;
 σ_{ij} – компоненти тензора напружень;
 σ_u – iнтенсивнiсть напружень;
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головнi напруження тензора напружень;
 μ_σ – параметр Надаi–Лоде;
 ψ – використаний ресурс пластичностi;
 $\sigma_\rho, \sigma_z, \sigma_\theta$ – нормальнi напруження на осях ρ, z, θ вiдповiдно;
 $\tau_{\rho z}$ – дотичне напруження;
•
 $\gamma_{\rho z}$ – швидкiсть деформацiї зсуву;
 U_ρ, U_θ, U_z – компоненти вектора швидкостi перемiщення точки;
 $\dot{\epsilon}_u$ – iнтенсивнiсть швидкостей деформацiї;
 $I_1(T_\sigma), I_2(T_\sigma), I_3(T_\sigma)$ – iнварiанти тензора напружень;
 $I_1(D_\sigma), I_2(D_\sigma), I_3(D_\sigma)$ – iнварiанти девiатора напружень;
 e_p – гранична деформацiя в момент появи перших трiщин вiд-
мим вiзуально;
 e_1, e_2, e_3 – головнi логарифмiчнi деформацiї;
 S_1, S_2, S_3 – компоненти девiатора напружень;
 t_p – час вiд початку до моменту руйнування;
 R – рiдiус матрицi;
 r – рiдiус пуансона.

ВСТУП

В сучасному машинобудуванні розвиток нової техніки і постійне збільшення виробництва різноманітних машин і приладів змушує працівників науково-дослідних закладів і промислових підприємств створювати нове високопродуктивне обладнання і шукати найбільш ефективні і економічні методи обробки металів. Впровадження прогресивних технологій обробки металів тиском дозволяє вирішити проблеми машинобудівної промисловості.

Завдяки високим техніко-економічним показникам і великим технологічним можливостям холодне пластичне деформування в останні роки стало широко застосовуватись на машино- і приладобудівних заводах, в електро- і радіотехнічній промисловості, а також і в інших галузях народного господарства. Однак можливості холодного пластичного деформування методом видавлювання використовуються ще недостатньо. Причина цьому те, що в даний час при проектуванні процесів обробки металів тиском основна увага приділяється визначенню енергосилових параметрів, а величину допустимого формозмінення, при якому настає руйнування, визначають експериментально або отримують наближені значення. Так як пластичне деформування є необоротним процесом, то на ймовірність руйнування суттєвий вплив має історія навантаження, яка визначається законом зміни напружено-деформованого стану протягом всього процесу пластичного формозмінення.

В свою чергу, вид напружено-деформованого стану та закони його зміни визначаються законами зміни параметрів процесу. Інформація про напружено-деформований стан необхідна для визначення використаного ресурсу пластичності – величини, яка прийнята нами в даній роботі в якості показника, що впливає на якість готових виробів. Тому актуальними є задачі подальшого удосконалення та розробки методів оцінки деформованості заготовок при об'ємному холодному пластичному деформуванні.

Необхідність таких досліджень обумовлена тим, що останнім часом значно підвищились вимоги до якості готових деталей, тобто формоутворення виробів різного профілю має відбуватись без накопичення пошкоджень металу в процесі його деформації, із сприятливою технологічною спадковістю і без втрати стійкості пластичного деформування. Для забезпечення вищевказаних вимог потрібне вивчення процесів об'ємного холодного пластичного деформування із застосуванням математичної і прикладної теорії пластичності, а також феноменологічної

теорії деформованості. Феноменологічна теорія деформованості дозволяє оцінити рівень пошкодженості матеріалу, який впливає на якість заготовок, отриманих при об'ємному холодному пластичному деформуванні, а також оцінити вплив основних параметрів процесу формозмінення на інтенсивність накопичення пошкоджень. Такий підхід дозволяє при заданих параметрах процесу оцінити величину гранично допустимого формозмінення, або, управляючи параметрами процесу досягти необхідного формозмінення при заданому рівні пошкодженості.

Наукові основи вищезазначених теорій представлено в роботах І. С. Алієва, В. А. Бабічкова, Я. Є. Бейгельзімера, П. Бріджмена, Ю. Г. Важенцева, С. І. Губкіна, Г. Д. Деля, В. О. Євстратова, А. А. Ільюшина, Л. М. Качанова, В. Л. Колмогорова, Н. Н. Малініна, В. М. Михалевича, А. Г. Овчіннікова, В. А. Огороднікова, О. М. Розенберга, О. О. Розенберга, І. О. Сивака, Г. О. Смірнова-Аляєва, М. Б. Штерна та ін.

Технологічні процеси, що розглядаються в роботі: зворотне видавлювання циліндричних виробів з глухим отвором та формування внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах, об'єднує однотипність схеми напруженого стану (об'ємний напружений стан), а також спосіб формоутворення – холодне пластичне деформування.

Однотипність схеми напруженого стану вищевказаних технологічних процесів дає можливість їх удосконалення на основі феноменологічної теорії деформованості. В теорії деформованості використовують критерії деформованості, в основі яких покладено обмеження, що накладаються на деформації, граничне значення яких залежить від показників напруженого стану. Величину цих показників виражають через інваріанти тензора і девіатора напружень, тому однотипність процесів, що розглядаються, суттєво полегшує оцінку ресурсу пластичності в областях, найбільш близьких до руйнування.

Для дослідження деформованості заготовок необхідна інформація про напружено-деформований стан в осередку деформації, що в свою чергу вимагає побудову діаграм пластичності в координатах: показник напруженого стану і накопичена до моменту руйнування деформація. Діаграма пластичності – одна із функцій, яка формує «технологічний паспорт» матеріалу. Проблема побудови діаграми пластичності в області великих пластичних деформацій все ще залишається нерозв'язаною. Тому удосконалення процесів об'ємного холодного пластичного деформування, спрямоване на підвищення якості вісесиметричних заготовок з глухим отвором є актуальним і має важливе наукове та практичне значення для машинобудівної промисловості України.

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК З ГЛУХИМ ОТВОРОМ

Розвиток нової техніки і постійне збільшення виробництва різноманітних машин і приладів вимагає від промислових підприємств випуску великої кількості різноманітних деталей, що у свою чергу, змушує конструкторів, працівників науково-дослідних інститутів і промислових підприємств створювати нове високопродуктивне обладнання і шукати найбільш ефективні і економічні методи обробки металів. Як правило, великий обсяг заготовок отримують шляхом послідовної обробки різанням. Однак для забезпечення необхідних механічних характеристик готових виробів, зниження трудозатрат, скорочення кількості переходів, підвищення коефіцієнта використання металу, продуктивності і якості важливе значення набувають безвідходні технології, зокрема, методи обробки металів тиском (гаряче і холодне штампування видавлюванням на пресах).

1.1 Зворотне видавлювання і штампування в закритих штампах

Холодне штампування видавлюванням є одним з найбільш прогресивних методів холодної обробки металів тиском та має високі техніко-економічні переваги. Процес холодного видавлювання заснований на використанні пластичних властивостей металів та сплавів і представляє собою формозмінення заготовки шляхом всебічного стиску з течією металу зовні, в незамкнену порожнину штампу. Цей метод дає можливість виготовляти різноманітні деталі складної конфігурації (з мінімальною кількістю операцій) і отримувати з заданою точністю взаємозамінні деталі.

До економічних переваг холодного видавлювання відносяться:

- 1) економічні витрати металу;
- 2) висока продуктивність;
- 3) низька собівартість виробів.

Холодне видавлювання можна застосовувати при виготовленні не менше ніж 40–50 % всіх невеликих і середніх серійних, масових деталей, які отримують обробкою різанням із пруткової сталі, кольорових металів і сплавів, що забезпечило б збереження багатьох тонн металу,

які ідуть у відходи і одночасно дало б можливість значно скоротити трудомісткість і знизити собівартість виробів, що випускаються.

В табл. 1 наведені економічні показники, що отримані при застосуванні холодного видавлювання замість обробки металів різанням, лиття і гарячого штампування [1].

Таблиця 1.1 – Економічні показники холодного видавлювання в порівнянні з іншими процесами

Технологічні процеси	Економічні показники при холодному видавлюванні, %		
	Скорочення витрат металу	Зменшення трудомісткості	Зниження собівартості
Обробка різанням	40–90	30–65	20–75
Лиття	10–35	10–20	15–35
Гаряче штампування	15–45	20–35	15–40

В довоєнні роки процес холодного видавлювання використовувався лише для виготовлення простих малогабаритних деталей (типу тюбиків для фарби і парфумної продукції) із найбільш пластичних матеріалів, як олово і свинець.

Більш широке застосування холодне видавлювання отримало в післявоєнні роки головним чином в радіоприладобудуванні. Із алюмінію, цинку, дюралюмінію, міді, латуні та інших матеріалів і сплавів виготовлялись корпуса полюсів для кишенькових батарей, корпуса електролітичних конденсаторів, екрани для радіоламп, цоколі, тримери, оболонки для електричних нагрівних приладів, трубки для водяного охолодження фільтрів і опріснювачів та багато інших виробів (рис. 1.1).

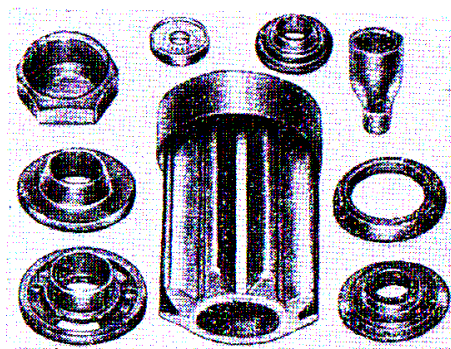


Рисунок 1.1 – Порожністі вироби, отримані холодним видавлюванням

Деякі заводи використовували холодне видавлювання для отримання профільних напівфабрикатів, які раніше виготовлялись фрезеруванням чи свердлінням з подальшим протяганням фасонних отворів (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Перерізи виробів, отриманих холодним видавлюванням

На теперішній час холодне видавлювання застосовується для виготовлення деталей найрізноманітніших форм із різних металів і сплавів, в тому числі і з високоміцних. Так, в останні роки виробництвом освоєно велику кількість деталей із вуглецевих, легованих, інструментальних, нержавіючих і жароміцних сталей, із сплавів титану, молібдену, цирконію та ін.

Габарити виробів, що отримуються холодним видавлюванням, визначаються потужністю обладнання. Стальні пустотілі обертові деталі виготовляються діаметром 125 мм і більше та довжиною (в напрямку видавлювання) 250 мм і більше. Максимальні товщини стінок можуть бути рівними 12–18 мм, а мінімальні – 2–3 мм. При всьому цьому напівфабрикати і деталі відрізняються достатньою точністю (2–4 класи) і високою стабільністю розмірів, високою чистотою поверхонь (∇ 7–9) і підвищеною міцністю. Доопрацювання їх різанням після видавлювання зазвичай зводяться до мінімуму: підрізка торців, прорізка вузьких пазів, свердління та нарізання мілких отворів і т. д., а в більшості випадків відпадають взагалі.

Однак технологічні можливості холодного видавлювання не є безмежними і визначаються двома основними факторами: величиною питомого тиску на інструмент та конструкцією заданої деталі.

В якості показника величини питомого тиску приймають середній тиск в поперечному перерізі пуансона. Оцінка умов, в яких протікає процес видавлювання, відбувається по інтенсивності навантаження пуансона, який працює в найбільш напружених умовах; конструктивні можливості збільшення його міцності обмежені, в той час як робочі напруження в стінках матриці можуть бути знижені за рахунок створення попередніх напружень протилежного знаку.

Питоме зусилля (середнє нормальне напруження) p визначається тиском максимального зусилля P на нормальну до напрямку дії зусилля найменшу площу поперечного перерізу пуансона F_n [2]:

$$p = \frac{P}{F_n}. \quad (1.1)$$

В даний час пристосування для холодного видавлювання виготовляють із високолегованих інструментальних сталей Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ, 65Х4В7ФМ, Р18 та їм подібним, які мають границю текучості в загартованому стані, близьку до величини 2500 МПа. Тому питомі зусилля в процесі видавлювання не повинні перевищувати цього значення. Враховуючи нерівномірність розподілення питомих тисків по площі поперечного перерізу пуансона і необхідність мати деякий запас міцності, в промисловій практиці обмежуються величиною питомих тисків порядку 2000–2200 МПа.

В процесі холодного видавлювання відбувається зміцнення металу деталі, що призводить до підвищення її міцності. Це дозволяє при відсутності наступного відпалу (чи іншого виду термічної обробки) проводити заміну середньовуглецевих конструкційних сталей 45, 40Х на низьковуглецеві – марок 20, 15Х, 20Х. Деталь, яка отримана холодним видавлюванням, має підвищену міцність ще й тому, що відсутній переріз волокон металу, який має місце при обробці різанням, оскільки після видавлювання в деформованій частині деталі волокна металу розташовані відповідно її конфігурації.

Дослідженнями встановлено, що відбувається також підвищення втомлюваної і ударної міцності деталей, виготовлених холодним видавлюванням.

Холодним видавлюванням можна виготовляти деталі складної форми, які через відсутність економічно належних технологічних процесів в серійному виробництві раніше не могли бути виконані.

Наприклад, за допомогою видавлювання відкриваються широкі можливості виготовлення багатогранних чи зубчатих деталей різноманітної форми (рис. 1.3). Такі деталі можуть мати переріз зі змінною товщиною стінки. Однак симетрія форми при масовому виробництві є обов'язковою.

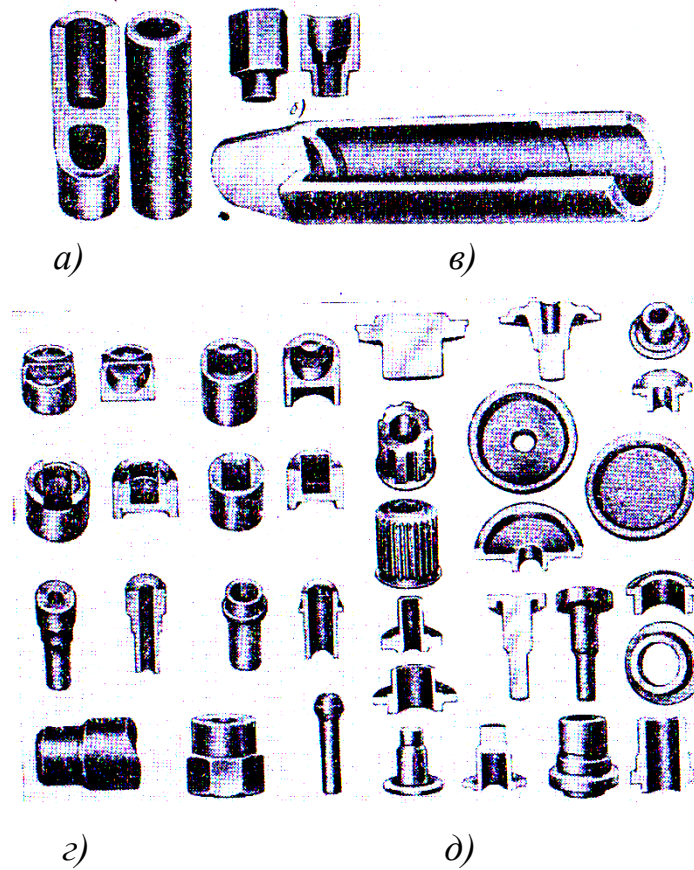


Рисунок 1.3 – Приклади деталей, що виготовляються холодним видавлюванням в США (а, б); Англії (в); Німеччині (г, д) [3–7]

Найбільший ефект холодне видавлювання забезпечує у випадку виготовлення деталей за одну операцію, але при цьому небажана велика різниця в площах поперечного перерізу виробу. Ця різниця визначається величиною відносного ступеня деформації:

$$\Delta\varepsilon = \frac{F - f}{F}, \quad (1.2)$$

де F – площа поперечного перерізу заготовки до деформації; f – площа поперечного перерізу видавленої частини деталі.

В США, Англії, Німеччині, Франції [3–7] холодним видавлюванням виготовляють: напівфабрикати поршневих пальців і корпуси свічок автомобільних двигунів, балони гідроаккумуляторів довжиною до 130 мм, різноманітні деталі велосипедів, деталі мотоциклів і автомобілів (рис. 1.3).

Існує чотири способи холодного видавлювання, різних за характером і видом робіт:

- 1) прямий;
- 2) зворотній;
- 3) комбінований;
- 4) радіальний.

Не дивлячись на загальновідомість способу зворотного холодного видавлювання, що дозволяє отримувати вироби різноманітних форм, його можливості обмежені здатністю металів витримувати технологічну операцію без руйнування.

Холодне штампування заготовок зворотним видавлюванням широко використовується у всіх галузях промисловості. Одна із переваг процесу зворотного видавлювання полягає в тому, що при забезпеченні необхідної жорсткості обладнання можна отримувати заготовки, які не потребують подальшої механічної обробки.

При зворотному способі видавлювання (рис. 1.4) течія металу відбувається у напрямку, протилежному прикладання тиску, тобто в протилежну сторону робочого ходу пуансона. Цей спосіб використовується для отримання порожнистих тіл, у яких ні один поперечний переріз не може бути більше відкритого кінця виробу. Зворотним способом виготовляють порожнисті заготовки круглої, квадратної, прямокутної овальної і інших складних форм [1] (рис. 1.5) з однаковим поперечним перерізом по всій довжині, діаметром від 8 до 150 мм, товщиною стінок від 0,08 до 3 мм і висотою до 300 мм.

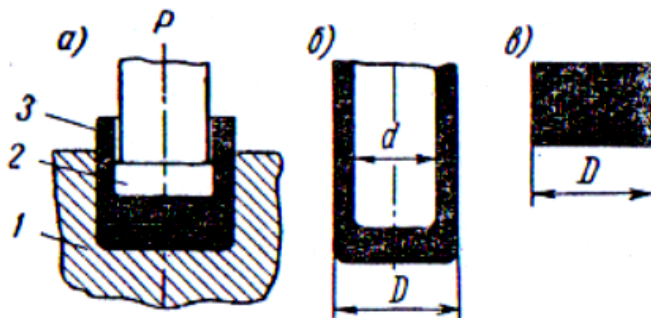


Рисунок 1.4 – Схема зворотного способу видавлювання
a) схема видавлювання (1 – матриця; 2 – пуансон; 3 – деталь);
б) деталь; *в)* заготовка

Зворотний спосіб видавлювання цінний тим, що цим способом можна виготовляти такі деталі, у яких товщина нижньої частини може бути більше товщини стінок, а також можна отримувати вироби з виступами, ребрами і т. д., але з однаковою товщиною стінок.

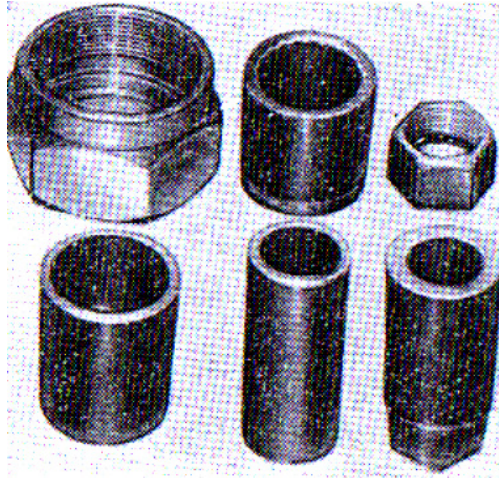


Рисунок 1.5 – Деталі, заготовки яких отримані зворотним способом видавлювання

Операція видавлювання даним способом відбувається таким чином. На дно матриці кладуть плоску заготовку. Між пуансоном і матрицею є зазор, який рівний товщині стінок порожнистого виробу. Під тиском пуансона метал заготовки тече доверху між стінками матриці і пуансона. Видавлена деталь залишається на пуансоні і при зворотному його русі скидається за допомогою зйомника чи стиснутого повітря, яке поступає через пуансон. Для зменшення тертя пуансон має зворотній конус.

Зворотній спосіб видавлювання здійснюється на спеціальних кривошипних і шарнірно-важільних пресах великої потужності. Тиск, що розвивається, значно більший, ніж при прямому способі. Крім того, зі зменшенням товщини стінок виробу необхідний тиск збільшується обернено пропорційно цій товщині.

Пристрій, що відомий для видавлювання порожнистих виробів, складається з верхньої і нижньої плити, рухомої матриці, пуансона і виштовхувача [8].

Недоліком цього пристрою є низька стійкість елементів штампу, яка обумовлена підвищеним контактним тертям з металом, який деформується.

Відомий також штамп для видавлювання порожнистих виробів [9] (рис. 1.6), який складається з пуансона, матриці і виштовхувача з плоским торцем, який оснащений приводом обертального руху, що дозволяє активізувати контактні ковзання на дні матриці і суттєво знизити зусилля деформування.

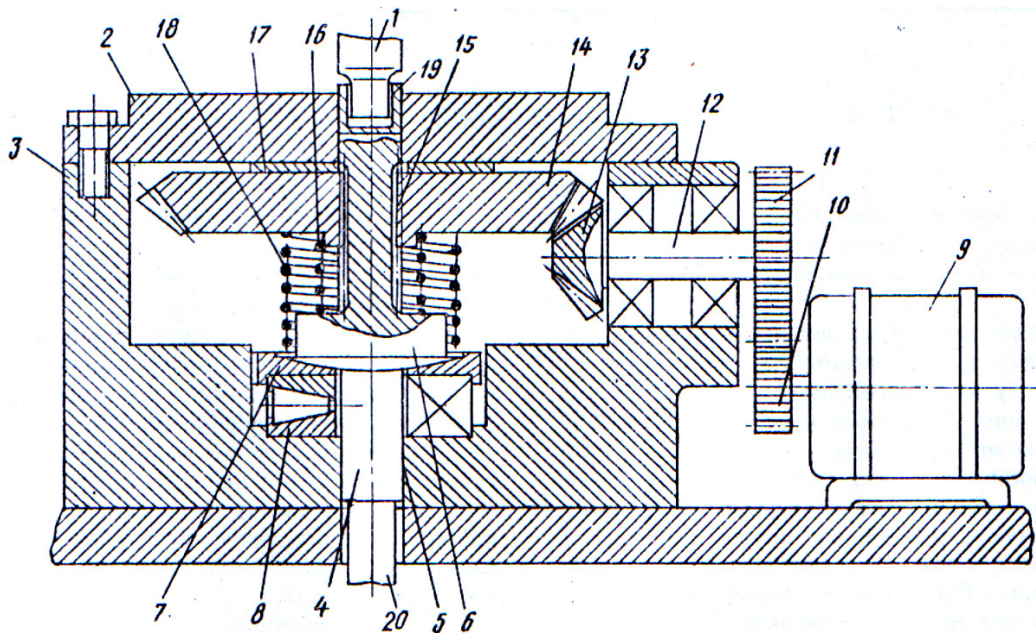


Рисунок 1.6 – Штамп для видавлювання порожнистих виробів

Недоліком при видавлюванні в відомому штампі є велика нерівномірність деформації, особливо в кутках порожнини матриці, що недостатньо підвищує стійкість інструменту, а ефективність змащення на дні матриці невисока. Отже, і невисока якість отриманих виробів.

В роботах [10, 11] розглянуто технологічну систему (ТС) з жорстким упором, встановленим між верхньою і нижньою плитами штампа паралельно руху його робочих деталей і поковки, що деформується. Така схема застосовується при виконанні операції прямого і зворотного видавлювання, а також штампування в закритих штампах.

При штампуванні із застосуванням упорів на універсальних пресах і штампуванні поковок в закритих штампах точність заготовок, отриманих при оберненому видавлюванні, збільшується в 1,5...2 рази. Збільшення точності розмірів поковок дозволяє збільшити точність визначення напружено-деформованого стану в об'ємі заготовки, що деформується.

Для виготовлення деталей типу «стакан» з тонким дном за рахунок виключення операції підрізки дна і підвищення стійкості інструмента за рахунок зменшення навантажень на нього на кінцевій стадії процесу видавлювання, авторами роботи [12] розроблений новий технологічний процес, який включає наступні операції: отримання штучних заготовок розрізкою від прутка; осадку-калібровку заготовок до діаметра $D_3 = D$; видавлювання в штампі спеціальної конструкції (рис. 1.7).

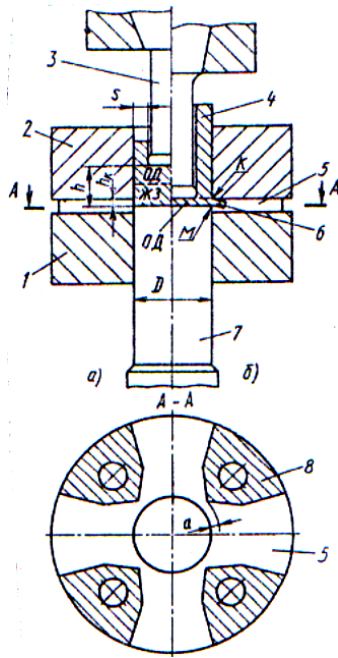


Рисунок 1.7 – Схема процесу видавлювання деталей типу «стакан» з тонким дном: *a* – стаціонарна стадія; *б* – формування дна і фланця.

Штамп включає матрицю, що складається із двох частин *1* і *2*, пуансон *3* з калібрувальним пояском, виштовхувач *7*. Конструкція матриці захищена авторським свідоцтвом. В нижній частині матриці *1* передбачені канали *5*, що призначені для розміщення технологічного фланця *6*, і розтиначі *8*, що розрізають фланець, який формується на виробі *4*.

Якщо прийняти $h_k < s$, то процес видавлювання за запропонованою схемою проходить так само, як і за традиційною схемою (рис. 1.8а) на першій і другій стадіях.

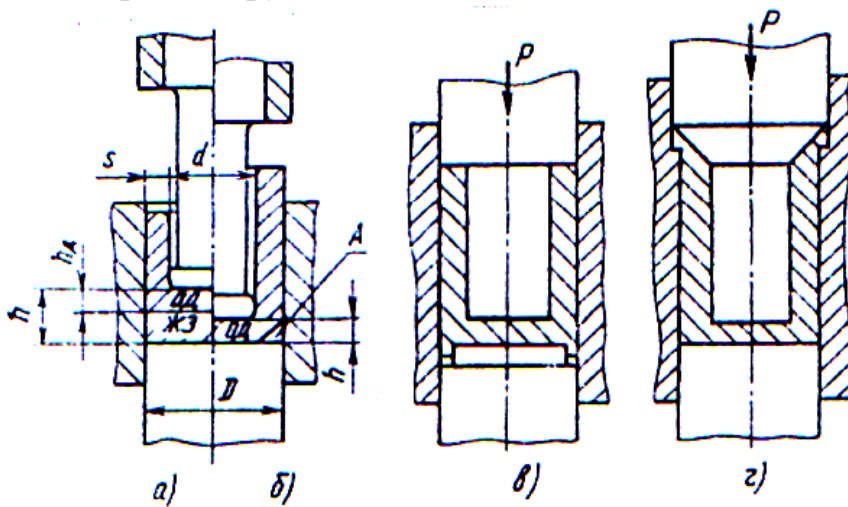


Рисунок 1.8 – Схеми видавлювання деталей типу «стакан» з тонким дном: *a, б* – без обмеження течії; *в, г* – з обмеженням течії.

На третій стадії спостерігаються суттєві розбіжності: запропонована схема дозволяє використовувати комбіноване видавлювання, тобто деформування з двома степенями вільності течії металу. Це значно зменшує зусилля деформування (порівняно з традиційною схемою) і завдяки радіальній течії металу запобігає незаповненню кутів штампа, як це має місце при традиційній схемі (див. рис. 1. 8б).

Радіальна течія металу в каналі 5 товщиною h_k обумовлює формування технологічного фланця. При виштовхуванні деталі із матриці відбувається обрізання цього фланця. Верхня частина матриці має просту форму, тому, періодично перешліфовуючи її нижній торець, легко зберегти гострою ріжучу кромку K , а перешліфовуючи виштовхувач, – кромку M . Так як метал, що утворює фланець, сильно деформований, то обрізання відбувається без утворення задирки. Щоб видалити отриманий відхід (технологічний фланець б), використовуються розтиначі 8 і канали 5. Ріжучі кромки розтинача розташовані на відстані a від твірної отвору під виштовхувач. Тому метал, що витискується в фланець на третій стадії видавлювання, не відокремлюється одразу ж на окремі частини, а утворює суцільний фланець. При видавлюванні наступної деталі фланець від попередньої деталі розділяється на чотири частини (які потім по каналах 5 виводяться в тару), а фланець наступної деталі надійно ізолює робочу порожнину штампа від попадання раніш розрізаних частин. Така конструкція матриці дозволяє забезпечити надійну роботу штампа як при вертикальному розташуванні вісі системи пуансон–матриця–виштовхувач, так і при горизонтальному чи похилому.

Таким чином, запропонований технологічний процес, схема видавлювання і конструкція матриці дозволяє отримувати якісні деталі типу «стакан» з тонким дном (відносна товщина дна 0,3–0,5 товщини стінки) на будь-якому обладнанні з вертикальним чи горизонтальним розташуванням інструмента.

Недоліком такого технологічного процесу є велика трудомісткість і наявність технологічного фланцю.

1.2 Формування внутрішніх шліцьових поверхонь в отворах

Технологічні процеси протягання і довбання прийнято використовувати для виготовлення деталей із шліцьовою поверхнею в отворах.

Протягання шліцьових отворів [13–15] дозволяє отримувати у вихідному круглому отворі певне число шліців різного профілю при високих

вимогах до точності розмірів, форми профілю, шорсткості поверхні. Діаметр шліцьових отворів, оброблених протяганням, досягає 420 мм. Шліцьові отвори одержують вільним способом протягання на горизонтальних і вертикальних верстатах для внутрішнього протягання.

Шліцьові отвори з різним профілем шліців одержують як багатошліцьовими, так і одношліцьовими протяжками в залежності від серійності виробництва.

При обробці протяганням виникають місцеві дефекти на протягненій поверхні у вигляді чорновин, виривів металу, задирок, смуг, кільцевих слідів, слідів від стружкоділительних канавок, лускоподібності або брижі, хвилястості і сколювання країв заготовки на виході протяжки.

Також при протяганні шліцьових отворів вимагається попередня додаткова операція для утворення вихідного круглого отвору будь-яким чистовим інструментом, включаючи круглу протяжку, що приводить до додаткових трудовитрат.

Для утворення рельєфних внутрішніх поверхонь використовуються довбачі [16], до яких висувають особливі вимоги. Процес довбання повинен забезпечувати високу продуктивність і в той же час високу точність оброблених виробів (рис. 1.9).

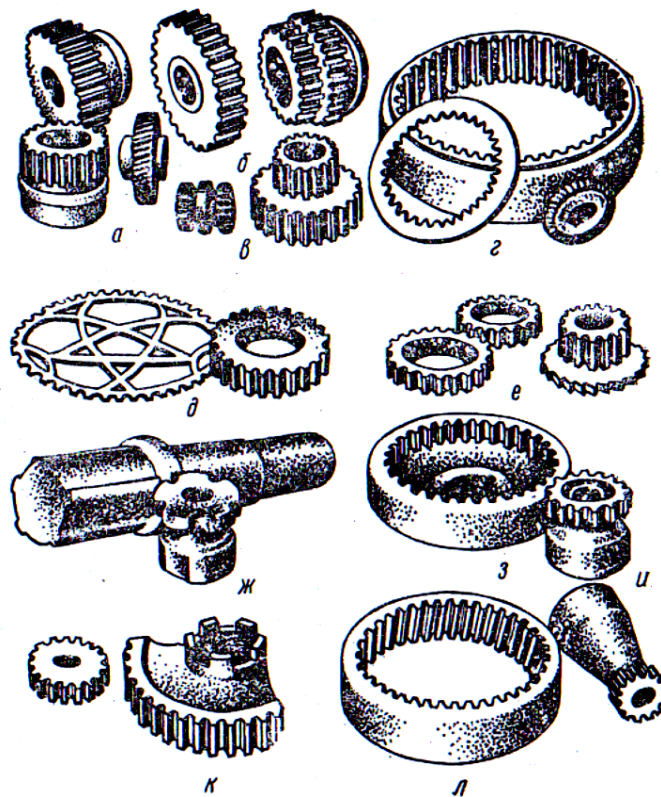


Рисунок 1.9 – Вироби з рельєфними поверхнями, отримані довбанням

При обробці довшанням виникають недоліки, які пов'язані із тим, що обробка всіх складових контуру здійснюється послідовно, припуск знімається за кілька проходів, неможливість обробки глибоких отворів. Крім того, при довшанні чистова і чорнова обробка виконується окремо різними інструментами, що потребує переналагодження верстату.

Використання гарячого штампування [17] при формуванні рельєфної поверхні, зокрема виготовлення поволок (втулки, стакани з зовнішніми і внутрішніми ребрами) на високошвидкісних молотах, пояснюється існуванням у виробів тонких ребер, стінок, полотен, малих радіусів заокруглень і штампувальних уклонів (рис. 1.10, 1.11), що неможливо одержати на звичайному штампувальному обладнанні. Вибір даного процесу обумовлює економію металу.

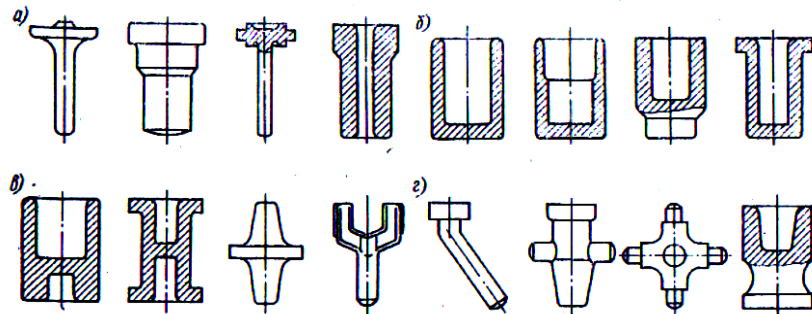


Рисунок 1.10 – Вироби, отримані гарячим видавлюванням

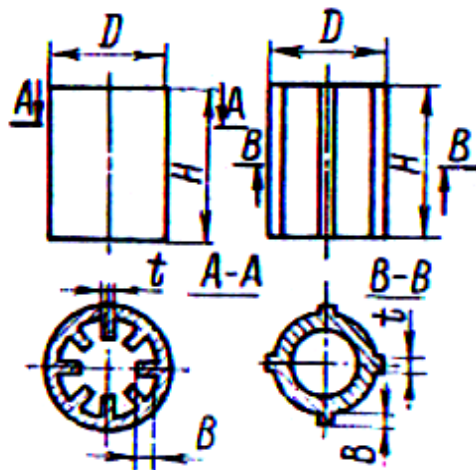


Рисунок 1.11 – Втулки, стакани із зовнішніми і внутрішніми ребрами

До основних дефектів при гарячому штампуванні видавлюванням відносяться: затиски і складки, поперечні зовнішні тріщини, пережими і прес-утяжини.

Проведений аналіз [18] наявних способів отримання внутрішніх рельєфних (шліцьових) поверхонь в отворах (протягання, довшання,

гаряче штампування видавлюванням) показав, що всі ці способи обробки пов'язані зі значними відходами металу, із застосуванням дорогого обладнання і пристосувань, з використанням висококваліфікованої робочої сили.

Холодне штампування методом видавлювання є одним з найбільш передових і прогресивних процесів виготовлення деталей, що забезпечує різке підвищення продуктивності праці, значне скорочення технологічних відходів металу, зниження трудомісткості процесів і собівартості продукції, що випускається.

Можливості холодного штампування видавлюванням досить широкі і різноманітні. Цим методом можна виготовити напівфабрикати і готові деталі будь-якої форми, у тому числі і внутрішні шліцьові профілі з маловуглецевих, середньовуглецевих і малолегованих сталей, а також із переважної більшості кольорових металів і сплавів.

Прикладом такої технології може бути технологічний процес формування внутрішнього шліцьового з'єднання в трубних заготовках методом їх обтиснення матрицями на профільних оправках (рис. 1.12) [19].

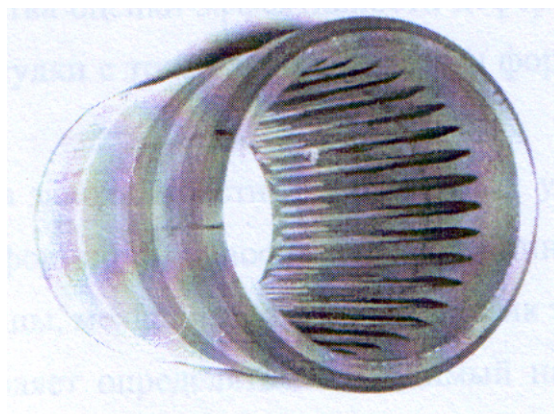


Рисунок 1.12 – Заготовка шліцьового з'єднання карданного валу дизель-потягу ДП 2

Враховуючи необхідність отримання нових економічно вигідних технологій, в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. Н. Бакуля НАН України у відділі № 20 під керівництвом О. О. Розенберга був розроблений технологічний процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах методом холодного пластичного деформування.

Суть процесу (рис. 1.13) полягає в тому, що заготовка (рис. 1.14) разом із розміщеною всередині профільною (шліцьовою) оправкою

ЛІТЕРАТУРА ¹

1. Фаворский В. Е. Холодная штамповка выдавливанием / В. Е. Фаворский. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М. : Машиностроение, 1966. – 159 с.
2. Филимонов Ю. Ф. Штамповка прессованием / Ю. Ф. Филимонов, Л. А. Позняк // Современное состояние кузнечно-штамповочного производства. – М. : Машиностроение, 1964. – 188 с.
3. Howard F. Cold Extrusion of Steel / F. Howard, H. Dennison, N. Angus // Sheet metal Industries. – 1961. – Vol. 38, No. 410.
4. Friedewald H. J. Richtlinien für die Konstruktion vorgespannter Fließ- und Strangtretwerkzeuge / H. J. Friedewald. // Werkstatttechnik, – H. 1. – 1959.
5. Feldman H. D. Entwicklung und Stand der Maschinen und Einrichtungen, für das Kaltschmieden / H. D. Feldman // Draht. – 1961. – No. 9. – P. 11–12.
6. Poulsen S. C. The cold Extrusion of Steel / S. C. Poulsen // Machinery (L). – 1960. – Vol. 97, No. 2503.
7. May O. Cold extrusion of small symmetrical and Asymmetrical Components / O. May // Machinery (L). – 1960. – Vol. 97, No. 2509.
8. А. с. 173107 СССР, МКИ В 27 J 5/12. Способ выдавливания металлических изделий / Ю. П. Можейко, Н. К. Розенталь. – № 807016/25–27 ; опубл. 07.12.62, Бюл. № 18. – 2 с.
9. А. с. 677800 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Штамп для выдавливания полых деталей / М. И. Поксеваткин, М. А. Седешев (СССР). – № 2541392/25–27 ; заявл. 09.11.77 ; опубл. 05.08.79, Бюл. № 29. – 2 с.
10. Антонюк Ф. И. Точность холодной объемной штамповки, выполняемой на кривошипных прессах с упорами и без упоров / Ф. И. Антонюк, Е. Н. Ланской // КШП. ОМД. – 2003. – № 11. – С. 18–24.
11. Антонюк Ф. И. Точность холодной объемной штамповки, выполняемой на кривошипных прессах с упорами и без упоров / Ф. И. Антонюк, Е. Н. Ланской // КШП. ОМД. – 2004. – № 1. – С. 19–29.

¹ Нікітіну І. Ю. вважати Кириця І. Ю. у зв'язку з одруженням і зміною прізвища.

12. Выдавливание деталей типа стаканов с тонким дном / В. А. Евстратов, О. М. Иванов, В. И. Рудь, М. М. Шевченко // КШП. ОМД. – 1990. – № 10. – С. 31–32.
13. Кацев П. Г. Обработка протягиванием : справочник / П. Г. Кацев. – М. : Машиностроение, 1986. – 272 с.
14. Кацев П. Г. Протяжные работы : учеб. пособие для обучения рабочих на производстве / П. Г. Кацев – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1985. – 191 с.
15. Пронкин Н. Ф. Протягивание труднообрабатываемых материалов / Н. Ф. Пронкин. – М. : Машиностроение, 1978 – 119 с.
16. Олифиренко М. И. Прогрессивные процессы зубодолбления / М. И. Олифиренко. – К. : Техника, 1988. – 190 с.
17. Атрошенко А. П. Горячая штамповка труднодеформируемых материалов / А. П. Атрошенко, В. И. Федоров. – Л. : Машиностроение, 1979. – 287 с.
18. Кириця І. Ю. Процес формування внутрішніх шліцевих поверхонь у глухих отворах методом холодного пластичного деформування / І. Ю. Кириця // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 1. – С. 34–37.
19. Розенберг О. А. Формообразования шлицевых отверстий в трубных заготовках методом холодного пластического деформирования / О. А. Розенберг, Б. П. Траченко // Технология и организация производства. – 1991. – № 2. – С. 20–23.
20. Дель Г. Д. Синтез экспериментальных методов исследования напряженного состояния в пластической области / Г. Д. Дель // Изв. Томского политехнического института. – 1966. – Т. 147.
21. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
22. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов / Г. А. Смирнов-Аляев. – Л. : Машиностроение, 1968. – 271 с.
23. Штерн М. Б. Особенности плоской деформации уплотняемых материалов / М. Б. Штерн // Порошковая металлургия. – 1982. – № 3. – С. 14–21.
24. Феноменологические теории прессования порошков / [М. Б. Штерн, Г. Г. Сердюк, Л. А. Максименко и др.]. – К. : Наукова думка, 1982. – 140 с.

25. Ильюшин А. А. Об одной теории длительной прочности / А. А. Ильюшин // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1967. – № 3. – С. 21–25.
26. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. Н. Малинин. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
27. Сивак И. О. Пластичность металлов при холодной пластической деформации / И. О. Сивак // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2000. – С. 171–187.
28. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич // Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 195 с.
29. Качанов Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. – М. : Наука, 1969. – 420 с.
30. Давиденков Н. Н. Анализ напряженного состояния в шейке растянутого образца / Н. Н. Давиденков, Н. И. Спиридонова // Заводск. лабор. – 1945. – Т. 11, № 6. – С. 83–93.
31. Хаар А. К теории напряженных состояний в пластических и сыпучих средах / А. Хаар и Т. Карман // Теория пластичности, 1948. – 120 с.
32. Феодосьев В. И. Соппротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М. : Наука, 1974. – 559 с.
33. Огородников Виталий Антонович. Экспериментально-аналитическое исследование осесимметричной пластической деформации : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Огородников Виталий Антонович. – Томск, 1969. – 131 с.
34. Унксов Е. П. Инженерная теория пластичности / Е. П. Унксов. – М. : Машиностроение, 1959. – 328 с.
35. Алиев И. С. Генерирование и кодирование технологических схем холодного выдавливания / И. С. Алиев, К. Крюгер, К. Д. Махмудов // Сборник научных трудов ДГМА. – 1999. – С. 52–57.
36. Алиев И. С. Поиск и классификация новых технологических способов выдавливания / И. С. Алиев // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2000. – С. 207–212.
37. Шамарин Ю. Е. Высокопроизводительные методы обработки металлов давлением / Ю. Е. Шамарин, В. Г. Лис, М. М. Подоровская. – К. : Техника, 1991. – 102 с.

38. Скрыбин С. А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием / С. А. Скрыбин. – К. : КВІЦ., 2004. – 346 с.
39. Кухарь В. В. Аналитическое определение граничных технологических параметров при профилировании заготовки осадкой с потерей устойчивости / В. В. Кухарь, К. К. Диамантопуло // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2000. – С. 196 – 199.
40. Мартиросян Ф. А. Определение поля напряжений и размеров очага пластических деформаций при обратном выдавливании / Ф. А. Мартиросян // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1966. – № 10. – С. 147–154.
41. Воронцов А. Л. Напряженное состояние заготовки при обратном выдавливании анизотропного материала / А. Л. Воронцов // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1980. – № 11. – С. 108–111.
42. Огородников В. А. Напряженно-деформированное состояние при формировании внутреннего шлицевого профиля методом обжатия на оправке / В. А. Огородников, И. Г. Савчинский, О. В. Нахайчук // Тяжелое машиностроения. – 2004. – № 12. – С. 31–33.
43. Колмогоров В. Л. Зависимость пластичности сталей от гидростатического давления / В. Л. Колмогоров, В. Ф. Шимшицев // Физика металлов и металловедение. – 1966. – Т. 21, № 6. – С. 910–912.
44. Томленов А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов. – М. : Metallurgy, 1972. – 408 с.
45. Джонсон У. Теория пластичности для инженеров / У. Джонсон, П. Б. Мелор. – М. : Машиностроение, 1979. – 567 с.
46. Смирнов-Аляев Г. А. Технологические задачи теории пластичности / Г. А. Смирнов-Аляев, В. М. Розенберг. – Л. : Лениздат, 1951. – 265 с.
47. Зибель Э. Обработка металлов в пластическом состоянии / Э. Зибель. – М.–Л., ОНТИ, 1934. – 134 с.
48. Соколовский В. В. Теория пластичности / В. В. Соколовский. – М. : Высшая школа, 1969. – 608 с.
49. Исследования пластичности металлов под гидростатическим давлением / [А. А. Богатов, О. И. Мижирицкий, В. Ф. Шишминцев, Ю. А. Аксенов] // Физика металлов и металловедение. – 1978. – Т. 45. – Вып. 5. – С. 1089–1094.
50. Важенцев Ю. Г. Прочность и пластичность материалов под гидростатическим давлением / Ю. Г. Важенцев. – Томск : ТПИ, 1978. – 87 с.

51. Бриджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. Влияние высокого гидростатического давления на механические свойства материалов / П. Бриджмен. – М. : Издательство иностранной литературы, 1955. – 444 с.

52. Пластичность и твёрдость твёрдых тел при высоких давлениях / [Б. И. Береснев, Е. Д. Мартынов, К. П. Родионов и др.]. – М. : Наука, 1970. – 100 с.

53. Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях / [Б. И. Береснев, Л. Ф. Верещагин, Ю. Н. Рябинин, Л. Д. Лифшиц]. – М. : АН СССР, 1960. – 175 с.

54. Пью Х. Механические свойства материалов под давлением / Х. Пью, Э. Эндлер // Успехи механики деформируемых сред. – М. : Наука, 1975. – С. 75–80.

55. Богатов А. А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А. А. Богатов, О. И. Мижирицкий, С. В. Смирнов. – М. : Metallurgia, 1984. – 144 с.

56. Пластичность и разрушение / [В. Л. Колмогоров, А. А. Богатов, Б. А. Мигачёв и др.] ; под. ред. В. Л. Колмогорова. – М : Metallurgia, 1977. – 336 с.

57. Богатов А. А. Теория разрушения металлов при обработке давлением / А. А. Богатов // Обработка металлов давлением. – Свердловск : УПИ им. С. М. Кирова. – 1982. – С. 15–23.

58. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов : в 3 т. / С. И. Губкин – М. : Изд. лит. по чёрной и цветной металлургии, 1961. – Т.1 : Физико-механические основы пластической деформации. – 376 с.

59. Бабичков В. А. Об экспериментальных теоретических основаниях механической теории прочности / В. А. Бабичков // Труды МИИТ. – М. : Трансжелдориздат. – 1951.

60. Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением / В. С. Смирнов, А. К. Григорьев, В. П. Пакудин, Б. В. Садовников. – М. : Metallurgia, 1975. – 272 с.

61. Дель Г. Д. Критерий деформируемости металлов при обработке давлением / Г. Д. Дель, В. А. Огородников, В. Г. Нахайчук // Изв. вузов. Машиностроение. – 1975. – № 4. – С. 135–140.

62. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.

63. Огородников В. А. Энергия. Деформация. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.

64. Огородников В. А. Влияние гидростатического давления на пластичность металлов / В. А. Огородников // Физика и техника высоких давлений. – 2007. – Т. 17, № 2. – С. 710.

65. Calibration and evaluation of seven fracture models / [T. Wierzborski, Y. Bao, Y. – W. Lee, Y. Bai] // International Journal of Mechanical Sciences. – 2005. – No. 47. – P. 719–743.

66. Wierzborski T. On the effect of the third invariant of the stress deviator on ductile fracture. Impact and Crashworthiness Lab Report / T. Wierzborski, L. Xue // International Journal of Fracture, submitted for publication. – 2005. – № 136.

67. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию / Г. А. Смирнов-Аляев. – Л. : Машиностроение, 1978. – 368 с.

68. Дель Г. Д. Пластичность деформированного металла / Г. Д. Дель // Физика и техника высоких давлений. – 1983. – № 11. – С. 28–32.

69. Огородников В. А. Приложение теории деформируемости к решению задач механики формирования внутреннего шлицевого профиля обжатием на оправке / В. А. Огородников, О. В. Нахайчук, В. И. Музычук // Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства. – М. : МГТУ «МАМИ». – 2003. – С. 66–75.

70. Перлин И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин, Л. Х. Райтбарг. – М. : Металлургия, 1975. – 448 с.

71. Прозоров Л. В. Прессование стали и тугоплавких сплавов / Л. В. Прозоров. – М. : Машиностроение, 1969. – 244 с.

72. Лоде В. Влияние среднего главного напряжения на текучесть металлов / В. Лоде // Теория пластичности : сб. статей. – М. : Государственное изд-во ИЛ. – 1948. – С. 168–205.

73. Пашков П. О. Пластичность и разрушение металлов / П. О. Пашков. – Л. : Судпромгаз, 1950. – 325 с.

74. Ренне И. П. Исследование деформационного состояния методом координатной сетки при сложном нагружении / И. П. Ренне // Прогрессивная технология холодно-штамповочного производства. – М. : ЛОНИТОМАШ, Машгиз. – 1956. – Кн. 40.

75. Ренне И. П. Обобщение метода обработки результатов искажения делительной сетки, предложенного П. О. Пашковым, для исследо-

вания процессов сложного деформирования / И. П. Ренне // Технология машиностроения. Исследования в области пластических деформаций и обработки металлов давлением. – Тула : Приокское изд-во, 1967. – Вып. 1. – С. 233–240.

76. Мейз Д. Теория и задачи механики сплошных сред / Д. Мейз. – М. : Мир, 1974. – 319 с.

77. Tomita Masakaru. Analysis of forward extrusion by grid method. Application of Lagrange's method of undermined multipliers / Masakaru Tomita // ISME Int. J. mech. sci. – 1987. – No. 30. – P. 242–247.

78. Дмитриев А. М. Выбор коэффициентов трения для расчетов технологических параметров штамповки выдавливанием / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов // КШП. ОМД. – 2004. – № 1. – С. 23–26.

79. Дмитриев А. М. Расчет накопленных деформаций при выдавливании полых цилиндрических деталей / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов // КШП. ОМД. – 2004. – № 3. – С. 3–9.

80. Дмитриев А. М. Расчет накопленных деформаций при выдавливании полых цилиндрических деталей / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов // КШП. ОМД. – 2004. – № 4. – С. 7–13.

81. Семенов Е. И. К вопросу исследования обратного выдавливания цилиндрическим пуансоном с плоским торцом / Е. И. Семенов, В. Е. Снимщиков // КШП. ОМД. – 1991. – № 6. – С. 7–8.

82. Bernhardt E. O. Die Microhartepzufung. Anwendungbeispiele aus der Technologie der Kraftverformung / E. O. Bernhardt // Zeit. Des VDI. – 1940. – Bd. 84, IV 39.

83. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Часть первая. Деформация и разрушение / Я. Б. Фридман. – М. : Машиностроение, 1974. – 472 с.

84. Розенберг А. М. Твердость и напряжение в пластически деформированном теле / А. М. Розенберг, Л. А. Хворостухин // Журнал технической физики. – 1955. – Т. XXV, вып. 2. – С. 313–322.

85. Розенберг А. М. Элементы теории процесса резания металлов / А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. – М. : Машгиз, 1956.

86. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г. Д. Дель. – М. : Машиностроение, 1971. – 200 с.

87. Дель Г. Д. Твердость деформированного металла / Г. Д. Дель // Изв. АН СССР. Металлы. – 1967. – № 4.

88. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.
89. ГОСТ 2999–75. Металлы. Метод измерения твердости алмазной пирамидкой по Виккерсу. – Взамен ГОСТ 2999–59 ; Введ. 28.07.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – 25 с.
90. Ильюшин А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М. : Издательство МГУ, 1990. – 310 с.
91. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию / Г. А. Смирнов-Аляев. – Л. : Машиностроение, 1977. – 462 с.
92. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов. Физико-механические основы пластической деформации / С. И. Губкин. – М. : Metallurgizdat, 1961. – 376 с.
93. Теорияковки и штамповки : учебное пособие для студентов машиностроительных и металлургических специальностей вузов / [Е. П. Унксов, В. Л. Колмогоров, В. А. Огородников и др.] ; под общей редакцией Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 720 с.
94. Огородников В. А. Зависимость пластичности металлов от градиента пластических деформаций / В. А. Огородников, И. О. Сивак. // Изв. АН СССР. Металлы. – 1978. – № 6. – С. 169–174.
95. Огородников В. А. Диаграммы пластичности и особенности их построения / В. А. Огородников, И. Ю. Кирица, В. И. Музычук // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2006. – С. 251–255.
96. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшицкий. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
97. Металловедение и термическая обработка стали : справочник в 3-х т. / под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. – 4-е изд., переработанное и доп. – М. : Металлургия, 1991. – Т. 1. Методы испытаний и исследования. – 304 с.
98. Огородников В. А. Исследование пластичности и разрушение материалов в процессах объемного формоизменения : дис... д-ра техн. Наук : 05.03.05 / Огородников Виталий Антонович. – Винница, 1978. – 426 с.
99. Ренне И. П. Экспериментальные методы исследования пластического формоизменения в процессах обработки металлов давлением с помощью делительной сетки / И. П. Ренне. – Тула : ТПИ, 1970. – 146 с.

100. Сивак И. О. Поверхность предельной пластичности / И. О. Сивак // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії. – Краматорськ : ДДМА, 1999. – С. 9–15.

101. Сивак И. О. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии / И. О. Сивак, К. И. Коцюбивская // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – С. 74–76.

102. Огородников В. А. Определение напряженно - деформированного состояния и деформируемости заготовок при обратном выдавливании / В. А. Огородников, И. О. Сивак, И. Ю. Кирица // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2005. – С. 152–158.

103. Кирица И. Ю. Оценка деформируемости заготовок при обратном выдавливании / И. Ю. Кирица // Застосування теорії пластичності в сучасних технологіях обробки тиском і автотехнічних експертизах : матеріали міжнар. науково-технічної конференції: (29 травня–1 черв. 2006 р., м. Вінниця). – Вінниця, 2006. – С. 117–119.

104. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А. Г. Овчинников. – М. : Машиностроение, 1983. – 200 с.

105. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков : Высшая школа, 1981. – 248 с.

106. Пат. 14662 А Україна, МПК⁷ В 21 J 13/02. Штамп для холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів типу стакан / В. А. Огородніков, І. О. Сивак, І. Ю. Кирица, заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 11932 ; заявл. 12. 12. 2005 ; опубл. 15.05.2006., Бюл. № 5.

107. Ренне И. П. Экспериментальные методы исследования пластического формоизменения в процессах обработки металлов давлением с помощью делительной сетки / И. П. Ренне. – Тула : ТПИ, 1970. – 146 с.

108. Нікітіна І. Ю. (Кирица І. Ю.) Дослідження кінематики процесу оберненого видавлювання / І. Ю. Нікітіна (І. Ю. Кирица) // XXXII наук.-тех. конференція проф.-виклад. складу, співробітників та студентів університету з участю працівників наук.-дослід. орг. та інженерно-тех. працівників підприємств м. Вінниці та області, 21–24 березня. 2003 р. – Вінниця, 2003. – С. 186.

109. Сивак І. О. Деформовність заготовок в процесі оберненого видавлювання / І. О. Сивак, І. Ю. Нікітіна (І. Ю. Кириця) // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 6. – С. 70–73.

110. Нікітіна І. Ю. (Кириця І. Ю.) Напружений стан при оберненому видавлюванні циліндричних заготовок / І. Ю. Нікітіна (І. Ю. Кириця) // XXXIII наук.-тех. конференція проф.-виклад. складу, співробітників та студентів університету з участю працівників наук.-дослід. орг. та інженерно-тех. працівників підприємств м. Вінниці та області, присвячена 80-річчю професора І. В. Кузьміна, 21–24 березня. 2004 р. – Вінниця, 2004. – С. 140.

111. Розенберг О. А. Деформируемость металла при формировании внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях методом холодного пластического деформирования (Сообщение 1) / О. А. Розенберг, С. Ф. Студенец, В. В. Мельниченко, И. Ю. Кирица // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – № 1(7). – С. 117–120.

112. Кириця І. Ю. Механика формирования внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях холодным редуцированием / И. Ю. Кирица // Розвиток методів розрахунку, удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском : науково-практична конференція присвячена пам'яті В. Ф. Потапкіна, 25–28 квітня 2007 р. – Краматорськ, 2007. – С. 73.

113. Технология металлов и материаловедение / [Б. В. Кнорозов, Л. Ф. Усова, А. В. Третьяков и др.] ; под. ред. Б. В. Кнорозова. – М. : Металлургия, 1987. – 800 с.

114. Музичук В. І. Дослідження впливу рекристалізаційного відпалу на відновлення запасу пластичності виробу при формуванні внутрішнього шлицьового профілю / В. І. Музичук // Сучасна аграрна наука: напрями досліджень, стан і перспективи : збірник матеріалів IV міжвузівської НПК аспірантів. – Вінниця : ВДАУ, 2004. – С. 221–224.

115. Моделирование напряженного состояния в процессах объемного формоизменения на основании гипотезы о подобии путей деформирования / В. А. Огородников, М. А. Рвачев, В. Д. Покрас, О. Л. Гайдамак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – № 11. – С. 2–4.

Наукове видання

Огородніков Віталій Антонович

Кириця Інна Юріївна

Перлов Віктор Євгенійович

**МЕХАНІКА ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧНОГО
ДЕФОРМУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗАГОТОВОК
З ГЛУХИМ ОТВОРОМ**

Монографія

Редактор С. Могила

Оригінал-макет підготовлено І. Кирицею

Підписано до друку 12.10.2015 р.

Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. др. арк. 9,47.

Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2015-32

Вінницький національний технічний університет,

КІВЦ ВНТУ,

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-85-32.

publish.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.

21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.