

УДК 621.7

В.Л. Калюжний д.т.н., проф.,  
НТУ України „Київський політехнічний інститут”

## СТВОРЕННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ, РЕСУРСОЗАОЩАДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ХОЛОДНИМ ОБ'ЄМНИМ ШТАМПУВАННЯМ ВИСОКОТОЧНИХ ВИРОБІВ З ПЛАСТИЧНИХ І МАЛОПЛАСТИЧНИХ МЕТАЛІВ

*Приведены разработки кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов в области холодной объемной штамповки. Разработаны и внедрены ряд технологических процессов и конструкций штамповой оснастки для получения точных изделий из пластичных и малопластичных металлов.*

*The development works in the field of cold forming of plastic mechanics and resource-saving processes department were produced. Series of technological processes and constructions of die tooling for producing details from plastic and low-plastic materials were developed.*

Вступ. В теперішній час в Україні розвиток багатьох галузей промисловості, зокрема авіабудування, машинобудування, приладобудування, суднобудування вимагає більш широкого застосування високоточних з підвищеними експлуатаційними властивостями виробів із кольорових металів, вуглецевих, штампових і інструментальних сталей. Ефективними методами отримання таких виробів є високопродуктивні, ресурсозберігаючі процеси холодного об'ємного штампування (ХОШ) [1-3]. Основною перевагою ХОШ є зміцнення металу при холодній формозміні металів, що дозволяє отримувати вироби з підвищеними і забезпеченими механічними властивостями здеформованого металу, а також провести заміну марки металу на більш дешевшу без зміни службових властивостей виробів. Однак широке розповсюдження вказаних процесів стримується високими питомими зусиллями при холодному деформуванні, низькою пластичністю багатьох металів і сплавів, а також відсутністю надійних методів розрахунку технологічних параметрів і геометричної форми деформуючого інструмента для отримання виробів з забезпеченими механічними властивостями.

На кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут” (НТУУ „КПІ”) на протязі тривалого часу проводяться теоретичні і експериментальні дослідження по науковому напрямку - створення високопродуктивних, ресурсозберігаючих технологій виготовлення високоточних виробів з пластичних і малопластичних металів холодним об'ємним штампуванням. В 1978 р. засновником напрямку був завідувач кафедри, д.т.н., професор Ю.Ф. Чорний. За період з 1978 по 1984 р. була створена матеріальна база, яка включала розроблені та виготовлені нові конструкції штампового оснащення для виготовлення виробів з пластичних і мало пластичних металів, а також закуплене і встановлене в лабораторії кафедри гідравлічне пресове обладнання зусиллям 1,6, 4 та 20 МН. Дослідження виконувались в рамках Координаційної ради по холодному об'ємному штампуванню при міністерстві вищої і середньої спеціальної освіти СРСР та по Постанові Державного комітету СРСР по науці і техніці. За вказаний період було виконано впроваджено ряд розробок по виготовленню деталей з пластичних і мало пластичних металів холодним об'ємним штампуванням на підприємствах України і інших республіках СРСР. За розробку і впровадження вказаних розробок науковому керівнику професору Чорному Ю.Ф. була присуджена премія Ради міністрів СРСР в області науки і техніки. Аспіранти кафедри, виконавці виконаних госпдоговірних тем, Калюжний В.Л. і Бердов С.Г. стали лауреатами комсомольської премії в галузі науки і техніки.

В теперішній час тематика по науковому напрямку досліджень включає:

1. Створення на базі комп'ютерного моделювання процесів обробки металів тиском інформаційних технологій реалізації інтенсивного пластичного деформування матеріалів і визначення раціональних та оптимальних технологічних параметрів (форми та розмірів заготовки, кількості переходів, зусиль деформування, питомих зусиль на оснащенні, зміцнення здеформованого металу) без доопрацювання параметрів трудомісткими з великою вартістю експериментальними роботами.

2. Удосконалення існуючих та розробка нових маловідхідних та безвідхідних високопродуктивних технологічних процесів виготовлення холодним об'ємним штампуванням різноманітних високоточних виробів ( в тому числі з забезпеченими фізико-механічними властивостями) з пластичних та мало пластичних металів.

3. Комп'ютерне проектування штампового оснащення для виконання різноманітних операцій холодного об'ємного штампування (загальних видів штампів та робочих креслень).

Фінансування робіт виконується за рахунок держбюджетної теми та госпдоговірних робіт. Приймають участь в виконанні робіт старший викладач, к.т.н. Калюжний О.В., асистенти Горностай В.М., Сабол С.Ф., аспірант Піманов В.В., студенти Запороженко А.С., Єлін С.М., Паляничко Є.М., Пахолко С.А., Савчук І.М. та інші.

Результати досліджень. Розроблені способи холодного видавлювання [4-6], які дозволяють суттєво знизити зусилля деформування та питомі зусилля на деформуючому інструменті, способи деформування з прикладанням диференційованого протитиску на заготовку при отриманні виробів з малопластичних сталей в холодному стані. Також розроблені конструкції штампового оснащення для реалізації способів на універсальному гідро пресовому обладнанні зусиллям від 1,6 до 20 МН. Накопичений досвід в області ХОШ став підґрунтям створення спеціалізованого пакету прикладних програм [7-8] для моделювання холодної формозміни металів методом

скінчених елементів, що дозволило створити інформаційну технологію визначення параметрів отримання виробів методами ХОШ на стадії проектування технології без доопрацювання їх трудомісткими і великої вартості експериментальними роботами. Було розроблено та впроваджено ряд технологічних процесів холодного видавлювання виробів різноманітної конфігурації з пластичних і малопластичних металів. Для підвищення пластичності металів і сплавів при холодному формоутворенні виробів в розроблених конструкціях штампів величина диференційованого протитиску на заготовку створюється, на відміну від існуючих конструкцій, без додаткових приводів і пристроїв. Величина протитиску саморегулюється по мірі вичерпання ресурсу пластичності металу, що деформується.

Створені технологічні процеси і штапкове оснащення для виготовлення з алюмінієвого сплаву АМЦ холодним видавлюванням трьох типів фланців з одностороннім та двохстороннім рельєфом складної конфігурації. Час виготовлення в порівнянні з обробкою різанням скорочено в 11-16 раз. Фланці після видавлювання мають підвищені в 2,5 рази фізико-механічні властивості здеформованого металу, високу чистоту поверхні, коефіцієнт використання металу збільшено в 2-3 рази. Процес видавлювання реалізований на гідравлічному пресі для холодного видавлювання ПО 443 зусиллям 20 МН. Спроекований та виготовлений універсальний штапковий блок дозволив виготовляти 3 типи фланців в одному штампі. На рис. 1а показані деформуючі пуанسونи, а на рис. 1б вихідна заготовка та фланець, який отриманий видавлюванням. Розробки впроваджені на НВО „Славутич” м. Київ.

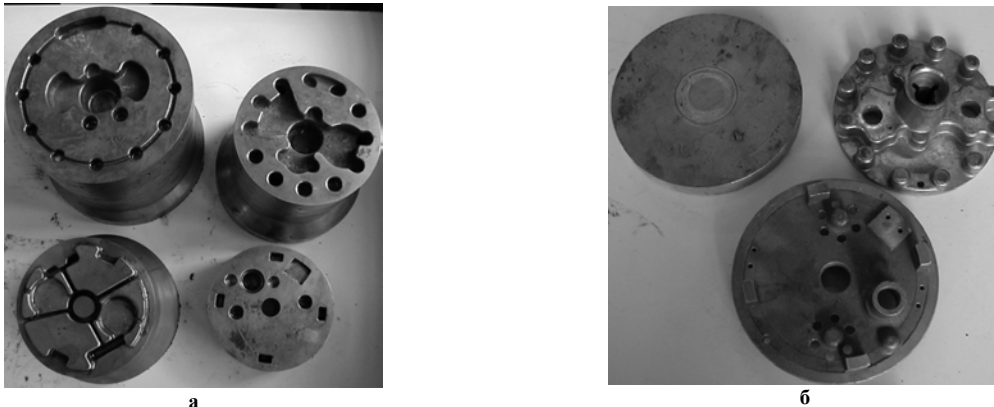


Рис. 1. Деформуючі пуанسونи (а), вихідна та здеформовані заготовки (б)

Результати робіт по створенню схем для холодного видавлювання виробів із малопластичних сталей і сплавів з прикладанням диференційованого протитиску на заготовку для підвищення пластичності при холодній формозміні, проведені експериментальні дослідження лягли в основу створення ряду технологій і оснащення

для холодного видавлювання заготовок порожнин штампів і пресформ, ливарних форм різної конфігурації із малопластичних сталей 10ХН3А, 12ХН3А, 4Х5В2ФС, Х12М, 5ХНМ, Р6М5. Розроблені та виготовлені штампи для гідравлічних пресів зусиллям 1,6 МН, 4 МН. та 20 МН. Схема, яка використана при проектуванні штампів для холодного видавлювання з диференційованим протитиском, представлена на рис. 2. Виробничий штамп для видавлювання з протитиском для пресу ПО 443 зусиллям 20 МН та контейнери різного діаметра показані на рис. 3. На рис. 4 наведені фотографії порожнин, які отримані із штапкових і інструментальних сталей.

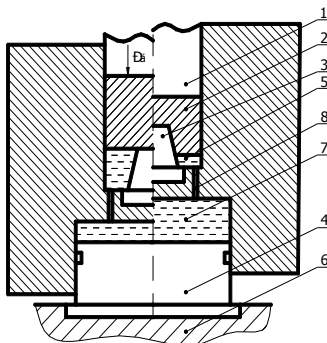


Рис. 2. Схема штампів для видавлювання порожнин з протитиском



Рис. 3. Виробничий штамп та контейнери різного діаметра для холодного видавлювання порожнин з малопластичних сталей

Відмінність конструкцій штампів полягає в можливості створення протитиску без додаткових приводів і пристроїв, саморегулювання його величини по мірі зменшення пластичності металу при холодній формозміні, а також в виштовхуванні готового виробу з контейнера другим ходом пресу. Створені схеми видавлювання дозволили

розширити марки сталей, з яких можливо отримувати вироби холодним видавлюванням. Чистота поверхонь отриманих порожнин (0,4-0,2), механічні властивості здеформованого металу збільшено в 2,5-4 р.



Рис. 4. Порожнини, які отримані холодним видавлюванням

Стійкість порожнин, які виготовлені видавлюванням за рахунок пропрацювання структури металу пластичною деформацією і створення відповідної макроструктури, збільшена в 2,3-5 р. в порівнянні з порожнинами, що зроблені обробкою різанням. Для деяких видів порожнин пресформ, які виготовлені холодним видавлюванням, виключена подальша термічна обробка загартування. Стійкість деформуючих пуансонів збільшена в 1,2-2,5 р. в порівнянні з традиційним видавлюванням. Результати розробок використані на ВАТ "Київський завод "Радар".

За допомогою розробленої інформаційної технології розрахунковим шляхом визначені конструктивні і технологічні параметри для забезпечення механічних властивостей здеформованого металу виробів із сталі 4ХН2МФА-Ш, які отримані холодним прямим видавлюванням. Був спроектований і виготовлений виробничий штамп для видавлювання на гідравлічному пресі ДБ 2432 зусиллям 1,6 МН. Штамп, вихідна заготовка та заготовки після видавлювання показані на рис. 5. Результати, маршрутна технологія прийняті для використання у виробництві на ДП "Завод ім. Малишева" м. Харків та впроваджені на ТОВ „Аврора” м. Харків.

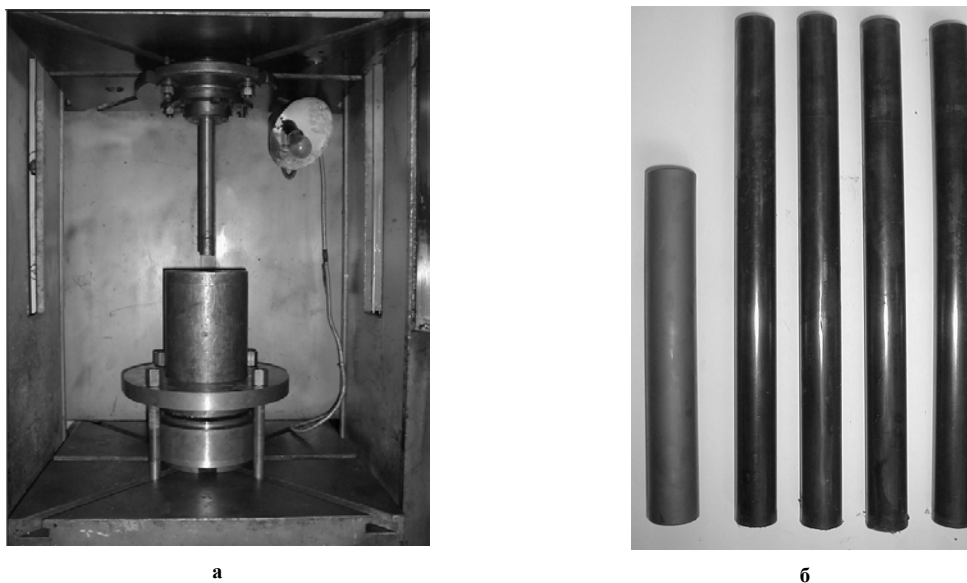


Рис. 5. Виробничий штамп для видавлювання (а), вихідна заготовка та здеформовані заготовки (б)

Також з використанням інформаційної технології був проведений розрахунковий аналіз процесу холодного видавлювання заготовок карбувальних штемפלів із сталі ШХ15-ШД необхідної форми та забезпеченим розподілом фізико-механічних властивостей здеформованого металу взамін існуючої технології обробки різанням. По визначених параметрах розроблено маршрутну технологію холодного видавлювання, виготовлене штампове оснащення. Проведено холодне видавлювання дослідної партії заготовок карбувальних штемפלів, які по розмірах і по даних механічних випробувань показали повну відповідність технічним умовам на вказану деталь. На рис. 6 наведені: а) схема видавлювання з диференційованим протитиском, яка була використана при проектуванні штампа, зліва від вісі симетрії вихідний стан, справа в процесі видавлювання; б) фотографія штампа для видавлювання заготовок штемפלів; в) вихідні заготовки; г) заготовки штемפלів після видавлювання. При видавлюванні на нижній торець заготовки прикладали диференційований протитиск, величина якого змінювалась від нуля на початку процесу до максимального значення 420 МПа в кінці формоутворення заготовок штемפלів. Коефіцієнт використання металу в порівнянні з технологією отримання обробкою різанням зріс на 30%, стійкість карбувальних штемפלів, які виготовлені з видавлених заготовок, зросла в 1,4-2 р. Технологія виготовлення штемפלів холодним видавлюванням прийнята для використання на Банкотно-монетному дворі Національного банку України м. Київ.

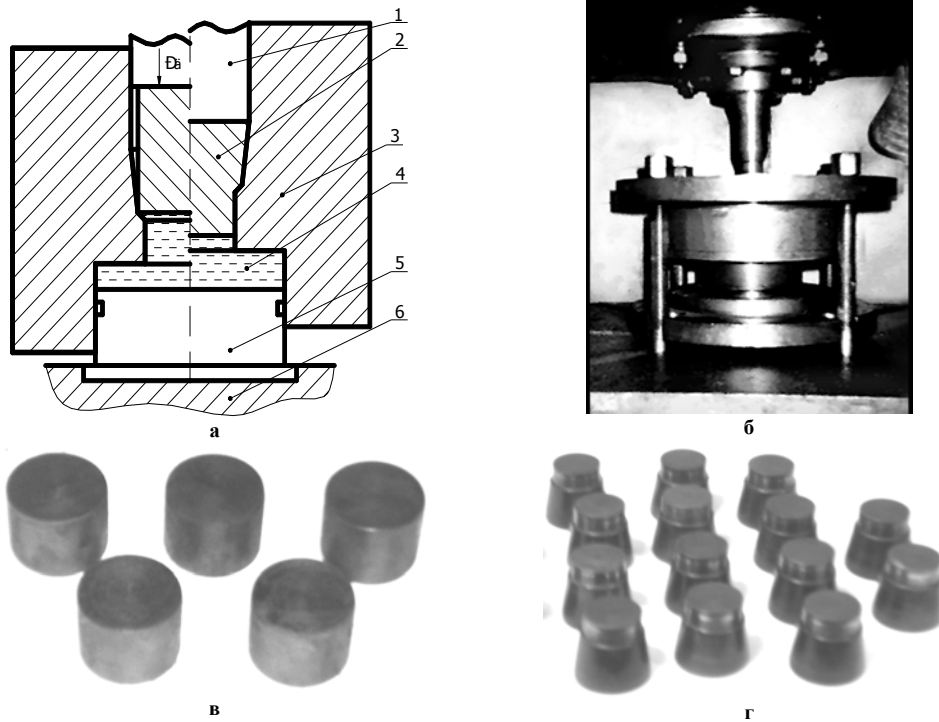


Рис. 6. Схема видавлювання заготовок штемпелів (а), виробничий штамп для видавлювання (б), вихідні заготовки (в) та заготовки після видавлювання (г)

Розроблений спосіб прямого видавлювання з роздачею не круглих профілів, який забезпечує формоутворення виробів при знижених зусиллях деформування. Сутність способу полягає в тому, що діаметр вихідної заготовки менший чим максимальний розмір перерізу профілю після видавлювання. Спосіб став підґрунтям для створення технології холодного видавлювання прямокутних профілів із сталі Р6М5 та профілів більш складної форми із сталі 10. Остання технологія, в порівнянні з обробкою різанням, дозволила зменшити: витрати на основні матеріали та напівфабрикати; витрати на енергоносії для технологічних цідлей; кількість основного обладнання; чисельність робітників; річну собівартість продукції. Спроектване та виготовлене виробниче оснащення для реалізації способу. На рис. 7 показана роз'ємна матриця для прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів та zdeформована заготовка на проміжній стадії видавлювання, з якої видно, що розмір профілю більший за діаметр вихідної заготовки. Штамп для прямого видавлювання з роздачею на гідравлічному пресі ДБ2432 зусиллям 1,6 МН представлений на рис. 8. На рис. 9 зображена бандажована матриця штампа (а), переріз профілю (б) та профілі із сталі 10, які отримані видавлюванням (в). Результати розробки впроваджені на АО "ГК МГ" м. Київ.

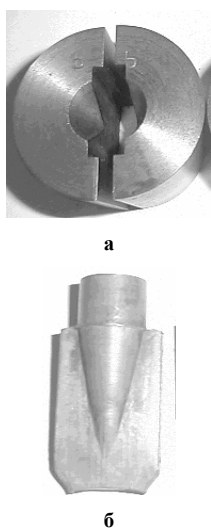


Рис. 7. Роз'ємна матриця (а) та zdeформована заготовка (б)

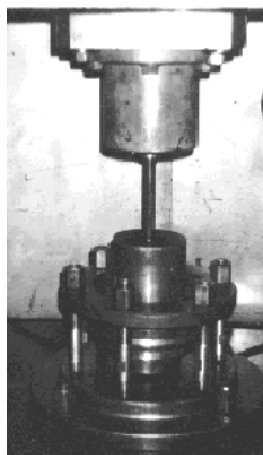


Рис. 8. Штамп для прямого видавлювання з роздачею на пресі зусиллям 1,6 МН

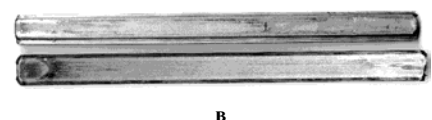
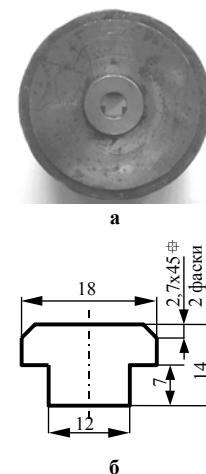


Рис. 9. Матриця для прямого видавлювання з роздачею (а), переріз профілю (б), та видавлені профілі (в)

Розроблені конструкції штампів для холодного видавлювання виробів із сталей з порожниною постійного діаметра та ступінчатою порожниною. Конструкції штампів дозволяють знизити питомі зусилля на пуансоні. Видавлювання виконується в умовах дії розтягуючого зусилля, яке прикладається до бурта заготовки згідно схеми, що представлена на рис. 10 (зліва від вісі симетрії вихідний стан, справа – в процесі видавлювання). Розтягуюче зусилля за борт заготовки створюється за рахунок стиснення робочої рідини перед тим, як торець пуансона торкнеться заготовки.

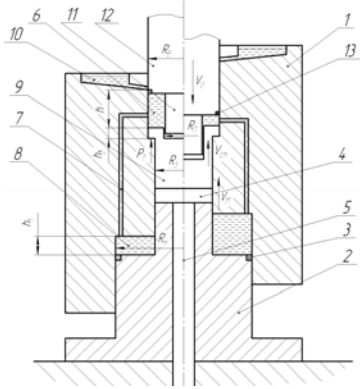


Рис.10. Схема штампів для видавлювання з розтягом сталевих виробів з порожниною постійного діаметра



Рис. 11. Штмп для видавлювання з розтягом на пресі зусиллям 4 МН та деталі, які отримані в штампі



Рис. 12. Штмп для витягування, який встановлений на гідравлічному пресі ДБ2432 зусиллям 1,6 МН



Рис. 13. Заготовки, які отримані витягуванням.



Рис. 14. Відбортовані заготовки



Рис. 15. Виріб „балон”.

Досягнуто зниження питомих зусиль на пуансоні до 28 % при прикладанні до бурта питомого розтягуючого зусилля величиною  $(0,9-1)\sigma_{0,2}$ . Тут  $\sigma_{0,2}$  – умовна межа текучості металу, що деформується. Зниження питомих зусиль на пуансоні досягається за рахунок зміни схеми напруженого стану в осередку деформації. При дії питомого зусилля на борт заготовки величиною  $0,5\sigma_{0,2}$  схема всебічного стиску стає стисло-розтягнутою за рахунок чого зменшується висота осередку деформації під пуансоном. Вказане зниження питомих зусиль на пуансоні суттєво підвищує їх стійкість. На рис. 11 показаний штмп на гідравлічному пресі ДБ2436 зусиллям 4 МН і отримані порожнисті вироби із сталі 20.

За допомогою інформаційної технології проведено математичне моделювання процесів витягування та відборткування виробів з мало вуглецевої сталі, що дозволило визначити геометричні розміри деформуемого інструмента, силові режими процесів, кінцеві розміри деталей з забезпеченими механічними властивостями здеформованого металу. На основі розрахунків було спроектовано та виготовлено штампи для витягування і відборткування складових деталей виробу „балон”. Штампи встановлюються на гідравлічний прес ДБ2432 зусиллям 1,6 МН (рис. 12). Заготовки, що отримані витягуванням та відборткуванням показані на рис. 13 і 14. Готовий виріб „балон”, який зварений з двох заготовок, показаний на рис. 15.

Результати вказаної розробки впроваджені на підприємстві „ТОВ Малей В.М.” м. Київ.

**Висновок.** Викладені основні розробки в області холодного об’ємного штампування, які виконані на кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ „КПІ”.

### Список літератури

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т/Ред. Совет: Е.И. Семенов (предс.) и др. –М.: Машиностроение, т.3. Холодная объемная штамповка /Под ред. Г.А. Навроцкого. 1987. -384 с.
2. Черный Ю.Ф., Спусканюк В.З., Лядская А.А. и др. Гидропрессование инструментальных сталей. К: Техника, 1987. – 217 с.
3. В.А. Белошенко, В.Н. Варюхин, В.З. Спусканюк. Теория и практика гидроэкструзии. К.: Наукова думка, 2007. – 246 с.
4. Черный Ю.Ф., Каложный В.Л., Быков А.И. и др. Штамп для изготовления полостей в заготовках из труднодеформируемых материалов. А.с 912387. – Оpubл.в Бюл. № 10, 1982 г.
5. Черный Ю.Ф., Каложный В.Л., Фоменко В.А., Воронин Н.И. Способ выдавливания фасонных изделий. А.с. СССР. № 1738409. – Оpubл. в Бюл. № 21, 1992 г.
6. Черный Ю.Ф., Каложный В.Л., Сабол С.Ф. Бондаренко А.В. Устройство для штамповки деталей А.С. СССР №1357111. – Оpubл. в Бюл. №45, 1987 г.
7. Каложный В.Л. Расчетный анализ холодного выдавливания стаканов конусным пуансоном методом конечных элементов. // В кн. «Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні».– Краматорськ-Славянськ.–2000. –С. 200-203.
8. Каложный В.Л. Расчетно-экспериментальный анализ силовых режимов и качества деталей при холодном прессовании деталей из стали 45 с разной степенью деформации. // Вісник двигунобудування.- 2004.-№1.-С. 139-144.