

УДК 621.777.24

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ АЛЮМІНІЄВОЇ ВСТАВКИ НА ПРОЦЕС ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ БІМЕТАЛЕВОЇ ЗАГОТОВКИ ПЛУНЖЕРА ПОРШНЕВОГО НАСОСУ

Левченко В.М., Даниленко В.Я., Тарасов М.М., Лактіонов Є.В.

НТУ «ХП», м. Харків, Україна

Анотація. Розроблено технологію виготовлення заготовок плунжерів поршневих насосів з використанням холодного об'ємного штампування. Для отримання заготовок біметалевих плунжерів запропоновано штампування у три переходи. Проведено дослідження формозміни і силового режиму холодного видавлювання заготовки складного плунжера на початковій нестационарній стадії другого переходу. З використанням зразків корпусу плунжера зі сталі 18ХГТ та осердя з алюмінієвого сплаву АВ різної форми виконано експериментальні дослідження щодо впливу геометрії алюмінієвої вставки на закріплення осердя в заготовці корпусу плунжера. Показано, що силовий режим ідентичний для всіх типів зразків. В результаті встановлено, що найкращий результат забезпечує видавлювання заготовок третього типу – деталь з надійною закінцівкою осердя, що дозволяє отримати якісну біметалеву заготовку плунжера насоса без застосування операції завальцювання.

Ключові слова: плунжер, поршневий насос, холодне об'ємне штампування, пряме видавлювання, осердя, біметалічна заготовка.

Плунжерні (поршневі) насоси широко використовують в системах водопостачання, в харчовій, хімічній промисловості та в побуті. Однією з важливих деталей поршневих насосів є плунжер (рис. 1). В даний час плунжери насосів виготовляють методом різання з прутка. Ця технологія характеризується високою трудомісткістю і низьким (менше 0,5) коефіцієнтом використання матеріалу.



Рис. 1 – Плунжер з під'ятником аксіального гідравлічного насоса

Одним з найбільш ефективних процесів виготовлення деталей зазначеного типу є холодне видавлювання. Основними перевагами холодного видавлювання є те, що це – високопродуктивний процес, практично відсутні втрати металу, а точність виготовлення така, що потрібні тільки фінішні операції (шліфування та полірування). Крім того, при холодному видавлюванні має місце значне зміцнення металу, що в багатьох випадках дозволяє відмовитися від вельми трудомісткої операції термообробки. У зв'язку з цим поставлено завдання – розробити технологію виготовлення плунжера гідронасоса НАС 125/200-2002 на основі використання технології холодного видавлювання.

Роздільне отримання корпусу плунжера і алюмінієвого осердя вимагає застосування надійних способів їх з'єднання. Один з найбільш поширених способів з'єднання є завальцювання, однак цей спосіб не дуже надійний і вимагає дуже точного контролю. Отримання плунжера з алюмінієвим осердем видавлюванням дозволяє отримати складну заготовку плунжера без застосування завальцювання і достатню міцність з'єднання. Тому розглянута можливість видавлювання плунжера спільно з алюмінієвим осердем за три переходи. Перший перехід – зворотне видавлювання стакану. Другий перехід – пряме видавлювання (в видавленій стакан вставляється алюмінієве осердя і проводиться спільне пряме видавлювання). Третій перехід – редукування головки плунжера під сферичну п'яту.

Холодне видавлювання складного плунжера – вельми складний технологічний процес, інформація про подібні технології в технічній літературі вкрай обмежена [1-3].

При лабораторних дослідженнях технології видавлювання біметалічної заготовки плунжера було встановлено, що остаточна форма осердя і корпусу плунжера залежать від багатьох технологічних і конструктивних факторів.

У зв'язку з цим проведено дослідження формозміни і силового режиму холодного видавлювання складного плунжера на другому переході. Процес видавлювання складного плунжера на цьому переході можна умовно розділити на три стадії: початкову нестационарну, стаціонарну і заключну. Отримання зворотного конуса, за допомогою якого здійснюється надійне закріплення осердя в корпусі, відбувається на першій і третій стадіях. Одним з основних завдань при отриманні біметалічного плунжера методом видавлювання – отримання міцного з'єднання осердя з корпусом. Згідно із запропонованою технологією рішення цього завдання здійснюється шляхом надання заготовці осердя спеціальної форми у вигляді усіченого конуса і спільної пластичної деформації зі сталевим корпусом в штампі для видавлювання. За цих умов видавлена деталь виходить з надійною закінцівкою осердя. В даному дослідженні ставилося завдання перевірити ефективність різних варіантів форми вихідних заготовок на отримання високоміцного з'єднання осердя з корпусом.

Для проведення дослідження були виготовлені складні зразки різної форми зі сталі 18ХГТ та алюмінієвого сплаву АВ. Пряме холодне видавлювання здійснювали в універсальному штамповому блоці на пресі ПММ-250 зусиллям 2500 кН. Перед холодним видавлюванням заготовки корпусів плунжерів відпалювали, піддавали травленню, промиванню, фосфатуванню і обмиленню. Всі заготовки піддавали однакової обробці за стандартним режимом.

Для дослідження першої стадії другого переходу були виготовлені зразки чотирьох типів (рис. 2).

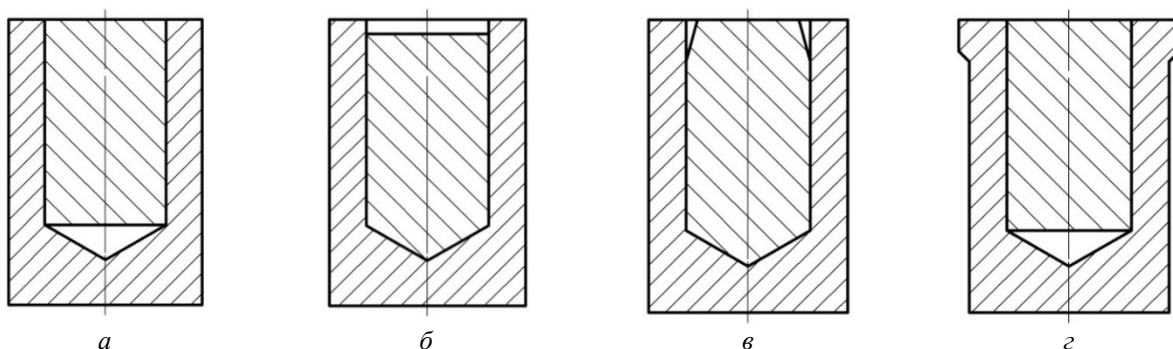


Рис. 2 – Складні зразки різної форми (а-г) для видавлювання заготовки біметалічного плунжера

Як видно з рисунка, найбільш простим в технологічному плані є перший варіант. Для отримання складної заготовки цього типу потрібно видавити сталевий стакан і відрізати (будь-яким способом) циліндричне осердя. Для виготовлення осердь другого і третього типу потрібне отримання конічних поверхонь. Це можливо або обробкою різанням, або обробкою тиском. В останньому випадку отримання конічної поверхні може бути здійснено на холодновисадочному автоматі одночасно з відрізкою мірної заготовки. Такий спосіб дозволить отримувати конічні заготовки з мінімальною трудомісткістю. Нарешті, для виготовлення корпусу заготовки четвертого типу потрібно значне ускладнення технології холодного видавлювання, тому що необхідно отримати стакан з пояском.

Дослідження впливу форми заготовки на характер формозміни і силовий режим видавлювання на нестационарній початковій стадії здійснювалося наступним чином. Зразок встановлювався в матрицю і навантажувався до тих пір, поки зусилля деформації не досягало максимуму. Після цього частково витиснуту заготовку випресовували з матриці. Отримані зразки розрізали і піддавали дослідженню. Дослідження включало вимір розмірів окремих елементів зразків, їх фотографування та вимірювання твердості в площині розрізу.

Аналіз формозміни зразків різної форми (рис. 3) показав, що спочатку видавлювання відбувається осаджування корпусу і осердя. При цьому в області відкритого торця утворюється піднутрення, якщо на осерді виконаний конус (рис. 3, в) або якщо на зовнішній поверхні конуса є поясок (рис. 3, з). У тому випадку, коли осердя мало постійний перетин (рис. 3, а і б), піднутрення не було.

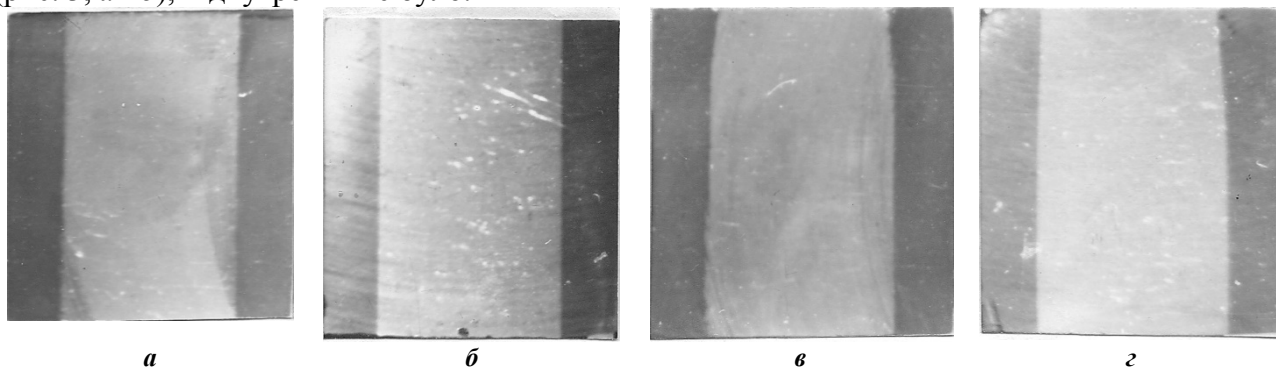


Рис. 3 – Геометрія зразків різної форми після видавлювання

Порівнюючи силовий режим осаджування, можна відзначити ідентичність показань силвимірника для всіх типів зразків (рис. 4). Однак для зразків четвертого типу (рис. 3, з) необхідний деякий запас ходу повзуна преса. Так як зусилля видавлювання на ходу розподіляється нерівномірно (крива 2 на рис. 4), то це несприятливо позначається на роботі пуансона, погіршує умови змащення та призводить до підвищення зносу інструменту. Тому застосування заготовок четвертого типу недоцільно.

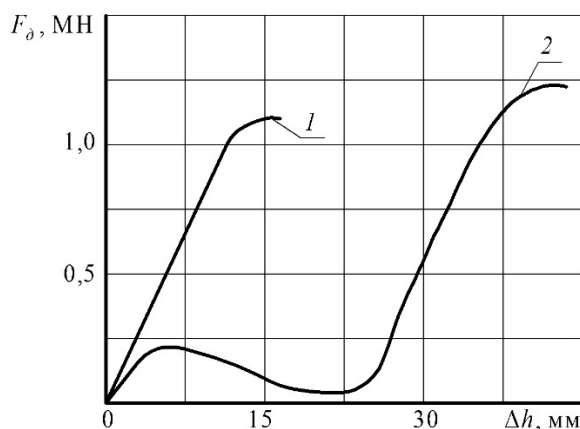


Рис. 4 – Силовий режим осаджування: 1 – крива зусилля для зразків першого, другого і третього типів, 2 – крива зусилля для зразка четвертого типу

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що найкращі результати виходять при видавлюванні заготовок третього типу.

Список літератури:

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Х.: Вища шк., 1987. – 144 с.
2. Холодная объемная штамповка: Справ. / [Г. А. Навроцкий, В. А. Головин, А. Ф. Нистратов и др.]. – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
3. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полугорячего выдавливания. Методические рекомендации. / [В. А. Евстратов, О. М. Иванов, В. И. Кузьменко и др.]. – М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 192 с.

УДК 621.313, 624.014

СТАТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ

Архіпова Т. Ф.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Анотація Статичний метод визначення граничного навантаження балки застосовано для розрахунку статично невизначуваної балки. Розрахунок за допустимими напруженнями не відповідає граничному навантаженню. Статичний метод є методом наближеного визначення граничного навантаження.

Ключові слова: граничне навантаження, балки, статичний метод.

За аналогією зі стрижневими системами балки піддають розрахунку за допустимими напруженнями (рис. 1, а). Для цього необхідним є виконання умов: найбільші напруження розтягу мають не перевищувати величини $[\sigma_p]$, найбільші напруження стиску – величини $[\sigma_c]$. Якщо позначити через h_1 та h_2 відстані від центра ваги поперечного перерізу балки до її граничних точок в розтягнутій та стиснутій зонах відповідно (рис. 1, б), то в зонах найбільш віддалених від нейтральної лінії точок, як випливає з формули:

$$\sigma = -\frac{M_z}{I_z} \times y$$

абсолютні значення відповідних напружень набувають максимуму. Для забезпечення міцності балки за умови допустимих навантажень мають бути виконані такі умови:

$$M_z \times \frac{h_1}{I_z} \leq [\sigma_c] \text{ та } M_z \times \frac{h_2}{I_z} \leq [\sigma_p]. \quad (1)$$

Для того, щоб запас міцності за напруженнями розтягу та стиску був однаковим, тобто знак рівності в умовах (1) з'являвся одночасно, необхідно, щоб

$$h_1 \div h_2 = [\sigma_c] \div [\sigma_p].$$

Для балок, у яких допустимі напруження на розтяг та стиск однакові, $[\sigma_c] = [\sigma_p] = [\sigma]$, розрахунок на міцність виконують для найбільшої абсолютної величини напруження, тобто за формулою:

$$|\sigma|_{max} = \frac{|M_z| \times |y|_{max}}{I_z} \leq [\sigma]$$

Величина відношення $\frac{I_z}{y_{max}}$ називається моментом опору згину та позначається W_z . Таким чином розрахункова формула набуває вигляду:

$$[\sigma_{max}] = \frac{|M_z|}{W_z} \leq [\sigma].$$

Розрахунок за допустимими напруженнями є виправданим для крихких матеріалів, для яких отримання напруження граничного значення, хоча б в одній точці викликає появу тріщин, які катастрофічно розповсюджуються. При знакозмінних навантаженнях пластичні матеріали можуть руйнуватися за крихким механізмом, і розрахунок за допустимими напруженнями також є необхідним та виправданим.

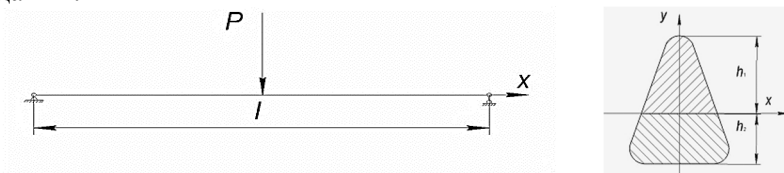


Рис. 1 Розрахункова схема (а) та поперечний переріз балки (б)

Пружний стан системи, при якому границя текучості $[\sigma_m]$ може бути досягнутою в одній або декількох точках, є статично можливим. Відповідне значення зовнішнього навантаження являє собою таке навантаження, яке визначено розрахунком за допустимими навантаженнями з запасом міцності $n = 1$. В реальних конструкціях при розв'язанні задач про знаходження пружного стану слід перш за все забезпечити виконання умов рівноваги статички: при цьому умова текучості не має бути порушеною і тільки в окремих точках ця умова може бути досягнутою. Статичний метод розрахунку

за граничним станом призводить до більшого значення допустимого навантаження [1] у порівнянні з розрахунками за допустимими напруженнями. При цьому статичний метод є методом наближеного визначення граничного навантаження способом підбору статично можливого стану [2].

Розглянемо у якості прикладу нерозрізну балку, що складається з двох рівних прольотів, та завантажену по всій довжині рівномірно розподіленим навантаженням інтенсивністю q (Рис. 2). Граничне значення розподіленого навантаження q необхідно знайти.

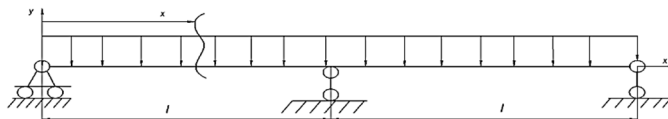


Рис. 2 – Розрахункова схема статично невизначуваної конструкції

Найбільший згинальний момент з умови текучості – M_m . Згинальний момент в перерізі з координатою x дорівнює:

$$M_{(x)} = y \times x - \frac{1}{2} q \times x^2$$

Максимальне значення моменту досягається при $x = l = y/q$. Тоді $(M_z)_{\max} = y^2/2q$. Граничне значення розподіленого навантаження сягне значення:

$$q^* \geq \frac{y^2}{2M_m}$$

В іншому випадку, максимальне значення моменту може бути досягнуто на середній опорі для $x = l$. Воно буде рівним:

$$M_{(x=l)} = y \times l - q l^2/2$$

З умови, що абсолютна величина цього моменту не перевищує M_m , знайдено граничне значення розподіленого навантаження:

$$q^* \leq 2 \frac{y}{l} + 2 \frac{M_m}{l^2}$$

Після введення безрозмірних величини відповідно для розподіленого навантаження $\bar{q} = \frac{ql^2}{M_m}$ та поперечної сили $\bar{y} =$

$\frac{yl}{M_m}$ отримаємо нерівності:

$$q^* \geq \frac{1}{2} \bar{y}^2 \tag{2}$$

$$\bar{q}^* \leq 2(1 + \bar{y}) \tag{3}$$

На рис. 3 показано границі зони, для якої виконуються нерівності (2) та (3). Найбільше значення навантаження q^* відповідають точці А, де перетинаються парабола $\bar{q}^* = \frac{1}{2} \bar{y}^2$ та пряма $\bar{q}^* \leq 2(1 + \bar{y})$. Абсциса цієї точки $\bar{y} = y_1 = 2(1 + \sqrt{2})$ відповідне значення ординати є граничним значенням розподіленого навантаження $\bar{q}_1^* = 6 + 4\sqrt{2}$. Максимальне значення моменту в прольоті досягається при $x = x_1 = l \frac{y_1}{q} = l(\sqrt{2} - 1)$.

Висновок: Статичний метод для визначення граничного навантаження є графічно-наочним та ефективним для балки зі статичною невизначеністю першого ступеня. Для систем більш високого ступеня невизначеності необхідно застосовувати метод сил та метод переміщень, які залишаються основними для розрахунку статично невизначених систем.

Список літератури:

1. Работнов Ю. Н. *Механика деформируемого твердого тела*. /Ю. Н. Работнов. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 744 с.
2. Огородников В. А. *Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении* / В. А. Огородников. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.

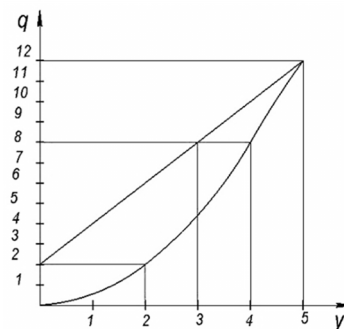


Рис. 3 – Область значень граничних навантажень конструкції

УДК 621.7.

РОТАЦІЙНЕ ХОЛОДНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ОДНИМ РОЛИКОМ НА ОПРАВЦІ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ЗІ СТАЛІ 10

В.Л. Калюжний¹, В.В. Піманов¹, В.С. Куріхін², О.В. Тимошенко¹, А.В. Савченко¹,
Р.Л. Русаков¹

1 - НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

2 - Директор ТОВ «СКБ «ЛЕГІОН», м. Київ, Україна

Анотація: Проведено експериментальні дослідження ротаційного холодного видавлювання одним роликом на оправці порожнистих виробів із сталі 10. Експериментальні дослідження процесу на універсальному токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62 на заготовках з внутрішнім діаметром $d = 48$ мм із різною товщиною стінки: 2,5 мм і 3 мм. В процесі ротаційного видавлювання за 12 проходів заготовка з товщиною стінки 2,5 мм була потоншена до 0,76 мм, а заготовка з товщиною стінки 3 мм до 0,54 мм. З отриманих заготовок були виготовлені зразки, які підлягали випробуванням на розтяг для встановлення механічних властивості матеріалу після деформування. Крім того проведені дослідження якості поверхні після ротаційного видавлювання.

Ключові слова: ротаційне видавлювання, машинобудування, механічні властивості границя пропорційності, межа текучості, межа міцності, ролик.

Сучасні умови виробництва в різних галузях машинобудування потребують підвищення якості деталей і скороченні часу на підготовку виробництва. Досягти цього можна актуальними на сьогоднішній день технологіями з локальним деформуванням [1-3]. До таких технологій відноситься і ротаційне видавлювання [4]. Наведені технології дозволяють створити умови деформування зі значними ступенями деформації, що часто є недосяжними для традиційних методів холодного об'ємного штампування. Це дозволяє скоротити кількість проміжних операцій термообробки, або взагалі без термообробки отримати напівфабрикат або виріб. Така технологія економічно вигідна для деталей, при виготовленні яких необхідна велика кількість переходів штампування [2-4].

В процесі ротаційного холодного видавлювання зерна металу видовжуються у напрямку головної деформації. Як наслідок, змінюється структура, підвищується щільність дислокацій [5]. При цьому підвищуються характеристики міцності (границя пропорційності $\sigma_{пц}$, межа текучості σ_T , межа міцності σ_B) і зменшуються характеристики пластичності (відносне видовження δ і відносне звуження Ψ) металу. Крім цього, ротаційне видавлювання дозволяє підвищити якість обробленої поверхні деталі. Розробка технології виготовлення порожнистих виробів полягає у встановленні правильного режиму обробки. Крім того правильно підібраний режим ротаційного формоутворення забезпечує якість обробленої поверхні з шорсткістю 9-10 класу чистоти [6], який відповідає параметру $R_a = 0,32 \div 0,16$ мкм. Підвищення якості поверхні позитивно відображається на величині межі витривалості матеріалу σ_{-1} , оскільки мікронерівності поверхні деталі є місцями концентрації напружень, що створює умови для появи мікротріщин [7].

Експериментальні дослідження процесу ротаційного видавлювання проводились на універсальному токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62. Для реалізації процесу було використано ролик з радіусною робочою частиною $R = 10$ мм, який подавали з величиною подачі $F = 0,1$ мм/об при частоті обертання заготовки $n = 1000$ об/хв. Для проведення експериментальних досліджень були використані порожнисті заготовки із сталі 10, виготовлені шляхом точіння з сортового прокату (рис. 1). Ескіз заготовки наведений на рис. 1а. Вихідні заготовки, які отримані точінням (рис. 1б), піддавались відпалу згідно режимів для даного матеріалу. Для зменшення тертя між заготовкою і роликом використовували змащення Ніквол-ММ. Для проведення експериментальних досліджень процесу ротаційного видавлювання були використані заготовки з внутрішнім діаметром

$d=48$ мм і зовнішнім діаметром $D_1=53$ мм і $D_2=54$ мм (товщина стінки $S_{Зар1}=2,5$ мм і $S_{Зар2}=3$ мм відповідно), таким чином забезпечувався різний ступінь деформації.

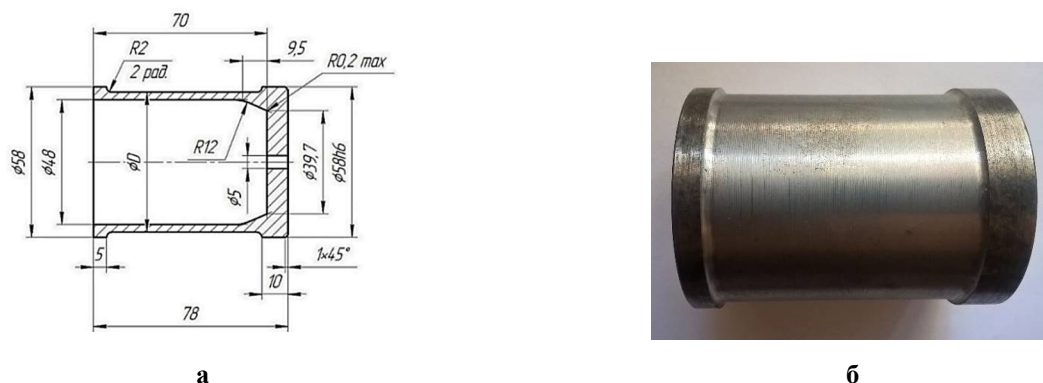


Рис. 1 - Заготовки для ротаційного видавлювання: а - ескіз заготовки, б – вихідна заготовка, яка отримана точінням з прокату

Схема ротаційного видавлювання та експериментальне оснащення на універсальному токарному обладнанні показані на рис. 2. На рис. 2а зображена схема ротаційного видавлювання. Оправка 1 встановлюється в патрон токарного верстату 2 і затискається кулачками 3. Заготовка 4 встановлюється на оправку 1. З вільного торця заготовки 4 встановлюється притискач 5. Центр 6, що встановлений в задній бабці 7, піджимає заготовку 4 притискачем 5 до оправки 1. Шайба 8, при необхідності, використовується для зняття готового виробу з оправки. Деформуючий ролик 9 встановлюється на вісі в державці, яка в свою чергу встановлена в різцетримачі 10 токарного верстату і кріпиться двома гвинтами 11. На рис. 2б наведено експериментальне оснащення для реалізації процесу, яка встановлена на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1К62

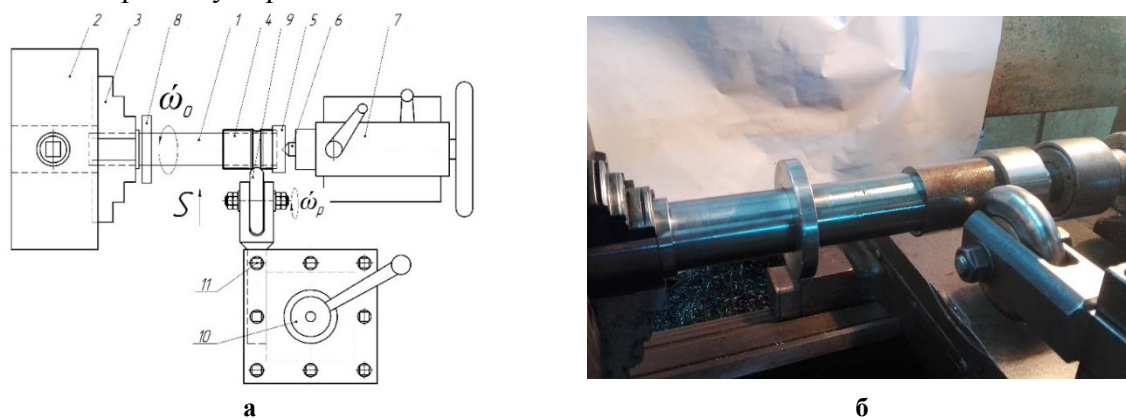


Рис. 2 - Схема ротаційного видавлювання та експериментальне оснащення на універсальному токарному обладнанні показані: а – схема ротаційного видавлювання, б - експериментальне уснащення на універсальному токарному обладнанні

В процесі ротаційного видавлювання за 12 проходів заготовка з товщиною стінки $S_{Зар1}=2,5$ мм була потоншена до $S_{Дет1}=0,76$ мм, а заготовка з товщиною стінки $S_{Зар2}=3$ мм до $S_{Дет2}=0,54$ мм. Максимально можлива теоретична ступінь деформації при ротаційному видавлюванні для даного матеріалу може бути наближено визначена за формулою [6]:

$$\varepsilon_{гр} = \frac{\Psi}{0,17 + \frac{\Psi}{100}}, \quad (1)$$

де Ψ (%) – відносне звуження для даного матеріалу при випробуванні на розтяг.

Отримані деталі після ротаційного холодного видавлювання показані на рис. 3. Характеристики міцності і пластичності визначали експериментальними випробуваннями на одновісний розтяг. Для проведення випробувань із готових деталей були вирізані відповідні зразки. Випробування на розтяг проводили на кафедрі «Динаміки міцності машин та опору матеріалів» НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Для проведення випробувань використана машина TIRA test 2300 (рис.4). Зразки встановлювали у плоскі захвати, після чого відбувався



Рис. 3 - Деталі, які отримані ротаційним видавлюванням



Рис. 4 - Зразки для проведення експериментів на одновісний розтяг, які встановлені на машині TIRA test 2300

їх розтяг із записом діаграми розтягу у координатах зусилля-переміщення – $P(\Delta l)$. По отриманим діаграмам графічним методом за методикою [8] було визначено границю пропорційності $\sigma_{пц}$, умовну межу текучості $\sigma_{0,2}$, а також розрахунковим шляхом встановлено межу міцності σ_B і відносне видовження δ . Виявлення відносного звуження Ψ для даних зразків не є доцільним через малу їх товщину. Вихідні дані для випробування зразків на розтяг після ротаційного видавлювання наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Вихідні дані для випробування зразків після ротаційного видавлювання на розтяг

№ досліджу	Параметр				Робоча довжина зразка l_p , мм
	Товщина зразка S, мм	Ширина зразка B, мм	Довжина зразка L, мм	Площа п/п F_0 , мм ²	
1.1	0,76	7,75	75,24	5,89	28,4
1.2	0,76	7,75	75,33	5,89	
1.3	0,77	7,75	75,3	5,97	
2.1	0,54	7,2	77,06	3,89	
2.2	0,53	7,1	77,07	3,76	
2.3	0,54	7,7	77,02	4,16	

Результати випробувань зразків на розтяг після ротаційного видавлювання приведені у таблиці 2. Порівняння механічних властивостей сталі 10 у відпаленому стані і після ротаційного видавлювання в залежності від ступеня деформації наведено в таблиці 3. Механічні властивості сталі 10 у відпаленому стані взяті з джерела [9].

Таким чином за рахунок зміцнення в процесі пластичної деформації зросли характеристики міцності: умовна межа текучості збільшилась для ступеня деформації 70%

Таблиця 2

Результати випробувань зразків на розтяг після ротаційного видавлювання

№ досл.	Параметри							
	$l_{кінц}$, мм	$R_{пц}$, Н	$R_{0,2}$, Н	R_{max} , Н	$\sigma_{пц}$, МПа*	$\sigma_{0,2}$, МПа*	σ_B , МПа	δ , %
1.1	77,8	3850	3950	4221	654	671	717	9,0
1.2	78,1	3550	3700	4250	603	628	722	9,8
1.3	78,04	3650	3750	4235	612	628	710	9,6
Середнє значення					623*	642*	716	9,5
2.1	78,93	2720	3880	3267	700	741	840	6,6
2.2	78,92	2700	2800	3120	718	744	829	5,8
2.3	78,9	2850	3000	3422	685	722	823	6,6
Середнє значення					701*	736*	831	6,3

*Дані, визначені графічним методом по отриманим діаграмам розтягу

Таблиця 3.

Механічні властивості сталі 10 у відпаленому стані і після ротаційного видавлювання в залежності від ступеня деформації

Ступінь деформації ϵ , %	Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа		Межа міцності σ_B , МПа		Відносне видовження δ , %	
	До	Після	До	Після	До	Після
70	210	642	340	716	31	9,5
82		736		831		6,3

82% відповідно у 3 і 3,5 рази, межа міцності зросла у 2,1 і 2,4 рази. При цьому зменшились характеристики пластичності: відносне видовження δ зменшилось до 9,5% і 6,3% для ступенів деформації 70% і 82% відповідно.

Для вимірювання шорсткості поверхні заготовки і деталі використовували «Модуль для вимірювання фасонних профілів» [10]. Вимірювання шорсткості відбувалось на кафедрі «Інтегрованих технологій машинобудування» НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Було встановлено, що шорсткість поверхні заготовки складала $Ra = 2,2$ мкм, що відповідає 6-му класу чистоти поверхні. Шорсткість готової деталі складає $Ra = 0,1$ мкм, що відповідає 10 класу чистоти. Таким чином, ротаційне видавлювання з вищевказаними режимами і формою деформуючого ролика дозволила підвищити чистоту поверхні на чотири класи.

Список літератури:

1. Чумадин А. С. Новое в листовой штамповке / А. С. Чумадин, Д. А. Батурин // URL: <http://www.ritm-magazine.ru/ru/public/novoe-v-listovoy-shtampovke> (дата обращения: 12.11.2017).
2. Бещеков В. Г. Орбитальная штамповка / Владимир Глебович Бещеков // URL: <http://www.ritm-magazine.ru/ru/public/orbitalnaya-shtampovka> (дата обращения: 12.11.2017).
3. Гожий С.П. Перспективы развития штамповки с обкатыванием / С.П. Гожий, А.В. Клиско // Вісник НТУУ "КПІ". Машинобудування. - 2011. - № 61, т. 1. - С. 81-86..
4. Уик Ч. Обработка металлов без снятия стружки / Ч. Уик // М.: Мир, 1965. — 549 с
5. Теория обработки металлов давлением. Евстратов В. А. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. – 248 с.
6. Гредитор М. А. Давильные работы и ротационное выдавливание / М. А. Гредитор // М.: «Машиностроение», 1971, стр.239.
7. Чернилевский Д. В., Лаврова Е. В., Романов В. А. Техническая механика. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 544 с.
8. ГОСТ 1497-84. Методы испытаний на растяжение.
9. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин // 2-е изд.– М.: Металлургия, 1973-224.
10. С. В. Майданюк, О. А. Плівак, Р. А. Бекмурадов. Модуль для вимірювання фасонних профілів. Вісник Житомирського державного технічного університету. Технічні науки. Вип. 2 (41), 2007 р.