

УДК 621.7.

**В.Л. Калюжний, д.т.н., проф., В.В. Піманов, к.т.н., асист,  
О.В. Тимошенко, к.т.н., доц., А.В. Савченко, студ., Р.Л. Русаков, студ.**

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТАЦІЙНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ЗІ СТАЛІ 10 НА ОПРАВЦІ**

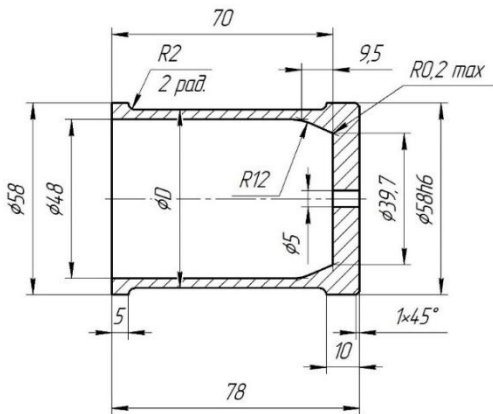
В умовах сучасного виробництва в різних галузях машинобудування виникає необхідність у підвищенні якості деталей і скороченні часу на підготовку виробництва. Досягти цього можна актуальними на сьогоднішній день технологіями з локальним деформуванням, до яких відносять технології ротаційного видавлювання [1-3]. Для таких умов деформування характерні великі допустимі ступені деформації, що часто є недосяжними для традиційних методів холодного об'ємного штампування. Це дозволяє скоротити кількість проміжних відпалів заготовки та економічно вигідно для деталей, при виготовленні яких необхідна велика кількість переходів штампування [2-4].

В процесі ротаційного видавлювання зерна металу видовжуються у напрямку головної деформації. Як наслідок, змінюється структура, підвищується щільність дислокацій [5]. При цьому підвищуються характеристики міцності (границя пропорційності  $\sigma_{\text{пц}}$ , межа текучості  $\sigma_{\text{T}}$ , межа міцності  $\sigma_{\text{B}}$ ) і зменшуються характеристики пластичності (відносне видовження  $\delta$  і відносне звуження  $\Psi$ ) металу. Крім цього, ротаційне видавлювання дозволяє підвищити якість обробленої поверхні деталі. При правильно підібраних режимах ротаційного формоутворення шорсткість обробленої поверхні може досягати 9-10 класу чистоти [6], що відповідає параметру  $R_a = 0,32 \pm 0,16$  мкм. Підвищення якості поверхні позитивно відображається на величині межі витривалості матеріалу  $\sigma_{-1}$ , 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). Отримані заготовки піддавались відпалу згідно режимів для даного матеріалу. Для зменшення тертя між заготовкою і роликом використовували змащення Ніквол-ММ.

Від діаметру вихідної заготовки залежить ступінь деформації металу при його ротаційному видавлюванні до певної кінцевої товщини стінки. Для 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  $S_{\text{зар1}} = 2,5$  мм і  $S_{\text{зар2}} = 3$  мм відповідно).

Схема ротаційного видавлювання на універсальному токарному обладнанні показана на рис. 2. 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 в різцетримачі 10 токарного верстату і кріпиться двома гвинтами 11.



а) ескіз заготовки

б) заготовка, яка отримана точінням з прокату

Рис. 1 Заготовка для ротаційного видавлювання.

Для вдавлення в заготовку ролик 9 подається перпендикулярно вісі оправки 1 (рис. 2а) і при подальшому зміщенні в поперечному напрямку виконує локальне деформування заготовки 4 (рис. 2б). За рахунок тертя між заготовкою 4 і роликом 9 останній починає обертатись.

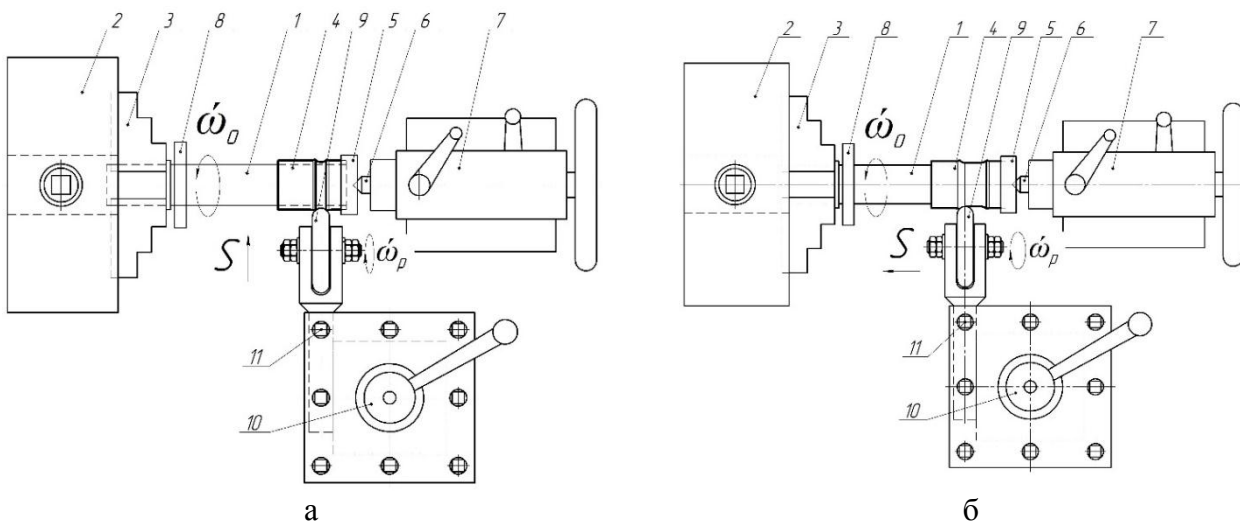


Рис. 2. Схема процесу ротаційного видавлювання на універсальному токарному обладнанні: а

– вдавлення ролика, б – ротаційне видавлювання

1 – оправка, 2 – патрон, 3 – кулачок, 4 – заготовка, 5 – прижим, 6 – центр, 7 – задня бабка, 8 – шайба, 9 – деформуючий ролик, 10 – різцетримач, 11 – гвинт

В процесі ротаційного видавлювання за 12 проходів заготовка з товщиною стінки  $S_{\text{заг1}} = 2,5$  мм була потоншена до  $S_{\text{дет1}} = 0,76$  мм, а заготовка з товщиною стінки  $S_{\text{заг2}} = 3$  мм до  $S_{\text{дет2}} = 0,54$  мм. Максимально можлива теоретична ступінь деформації при ротаційному видавлюванні для даного матеріалу може бути наближено визначена за формулою [6]:

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

де  $\Psi$  (%) – відносне звуження для даного матеріалу при випробуванні на розтяг.

Отримані деталі після ротаційного 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 (рис. 4).



Рис. 3. Деталі, отримані ротаційним видавлюванням.



Рис. 4. Зразки для проведення експериментів на одновісний розтяг.

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. Зразки встановлювали у плоскі захвати, після чого відбувався 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  $\sigma_{\text{пц}}$ , умовну межу текучості  $\sigma_{0,2}$ , а також розрахунковим шляхом встановлено межу міцності  $\sigma_B$  і відносне видовження  $\delta$ . Виявлення відносного звуження  $\Psi$  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				
	Товщина зразка S, мм	Ширина зразка B, мм	Довжина зразка L, мм	Площа п/п $F_0$ , мм <sup>2</sup>	Робоча довжина зразка $l_p$ , мм
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% і 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  $\delta$  зменшилось до 9,5% і 6,3% для ступенів деформації 70% і 82% відповідно.

Таблиця 2. Результати випробувань зразків на розтяг після ротаційного видавлювання.

№ досл.	Параметри							
	$l_{кінц}$ , мм	$P_{пц}$ , Н	$P_{0,2}$ , Н	$P_{max}$ , Н	$\sigma_{пц}$ , МПа*	$\sigma_{0,2}$ , МПа*	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
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					<b>623*</b>	<b>642*</b>	<b>716</b>	<b>9,5</b>
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					<b>701*</b>	<b>736*</b>	<b>831</b>	<b>6,3</b>

\*Дані, визначені графічним методом по отриманим діаграмам розтягу

Таблиця 3. Порівняння механічних властивостей сталі 10 у відпаленому стані і після ротаційного видавлювання в залежності від ступеня деформації.

Ступінь де- формації $\epsilon$ , %	Умовна межа текучос- ті $\sigma_{0,2}$ , МПа		Межа міцності $\sigma_B$ , МПа		Відносне видовження $\delta$ , %	
	До	Після	До	Після	До	Після
70	210	<b>642</b>	340	<b>716</b>	31	<b>9,5</b>
82		<b>736</b>		<b>831</b>		<b>6,3</b>

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 використаних джерел

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. Бецеков В. Г. Орбитальная штамповка / Владимир Глебович Бецеков // 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.