

УДК 621.7.

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

В.Л. Калюжний<sup>1</sup>, В.В. Піманов<sup>1</sup>, В.С. Куріхін<sup>2</sup>, О.В. Тимошенко<sup>1</sup>, А.В. Савченко<sup>1</sup>,  
Р.Л. Русаков<sup>1</sup>

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.

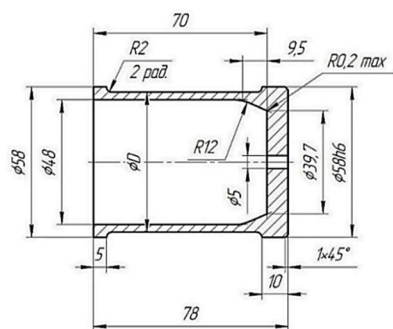
**Ключові слова:** ротаційне видавлювання, машинобудування, механічні властивості границя пропорційності, межа текучості, межа міцності, ролик.

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  $\sigma_T$ , межа міцності  $\sigma_B$ ) і зменшуються характеристики пластичності (відносне видовження  $\delta$  і відносне звуження  $\Psi$ ) 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  $\sigma_{-1}$ , 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). 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.

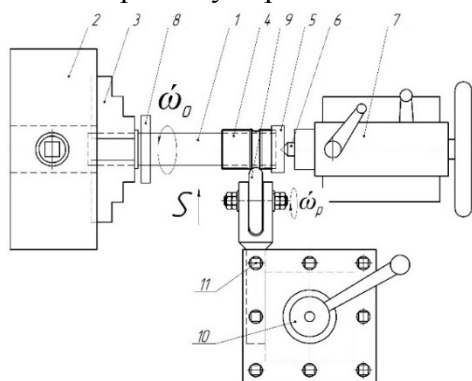


а

б

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



а

б

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  $\Psi$  (%) – 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  $\sigma_B$  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				Робоча довжина зразка $l_p$ , мм
	Товщина зразка S, мм	Ширина зразка B, мм	Довжина зразка L, мм	Площа п/п $F_0$ , мм <sup>2</sup>	
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*	$\sigma_B$ , 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.

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

Ступінь деформації $\epsilon$ , %	Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$ , 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>

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.

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.