

УДК 621.8

Калюжний В. Л.
Суботенко Г. М.**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ
ЗАГОТОВОК КУЛЬОК ІЗ СТАЛЕЙ ШХ-15 І 12Х18Н10Т**

В теперішній час для виготовлення заготовок кульок для підшипників використовують наступні методи: кування, штампування та поперечна прокатка. Причому кожен з перерахованих методів знаходить застосування в конкретному діапазоні розмірів кульок.

Згідно з [1], заготовки для кульок діаметром вище 204 мм виготовляють методом вільного кування на молотах. Заготовки для кульок діаметром від 51 до 204 мм виготовляють методом гарячого штампування в спеціальних штампах на пресах або молотах. Для виготовлення заготовок кульок діаметром від 29 до 51 мм застосовують гаряче штампування на горизонтальних кулькоштампувальних пресах-автоматах (ГКПА) або гарячу поперечну прокатку. Заготовки для кульок діаметром до 29 мм виготовляють методом холодного об'ємного штампування (ХОШ) на ГКПА.

Основними масовими розмірами кульок являються кульки діаметром від 1,5 мм до 35 мм, з яких найбільший інтерес представляють кульки, діаметром до 29 мм, заготовки яких виготовляються методом ХОШ на ГКПА. Кульки виготовлені методами холодного об'ємного штампування мають інтенсивне пропрацювання структури металу пластичною деформацією, завдяки чому підвищується їх надійність і довговічність.

Оскільки на трудомісткість послідувочої обробки заготовок кульок (і на собівартість в цілому) впливає точність останніх, а на довговічність – структура волокон металу та рівномірність деформацій, то актуальним є питання визначення найбільш оптимальної схеми холодного штампування, яка б забезпечувала мінімальні припуски та максимальну контактну витривалість.

Як відмічено в [1–3], холодне штампування заготовок кульок на ГКПА здійснюється у відкритих та закритих штампах і може бути із облоєм, з малим облоєм та без облою. Тому постає питання виконання порівняльного аналізу вказаних процесів.

При цьому необхідно відмітити, що по відношенню до кулькоштампувального виробництва із облоєм вважається метод штампування заготовок кульок, в результаті якого на них утворюються яскраво виражені полюсні виступи в верхній і нижній частинах заготовок та облою [1]. У відповідності з цим, при штампуванні з малим облоєм величини параметрів облою та полюсних виступів значно менші, тому вони являють собою просто намітки. При штампуванні без облою полюсні виступи ледве помітні.

В роботі [4] проведений скінченно-елементний аналіз штампування кульок з вихідної заготовки, яка має конічні торці. Така форма заготовки практично не використовується при штампуванні заготовок кульок, тому що її складно отримати для масового виробництва.

В джерелі [5] розглянуто можливість отримання заготовки кульки для кулькових кранів із циліндричної заготовки прямим і зворотним видавлювання двома конічними пуансонами. Показана можливість чіткого оформлення сферичної поверхні завдяки течії металу в поперечному напрямку. Таке штампування можливе на кривошипних і гідравлічних пресах.

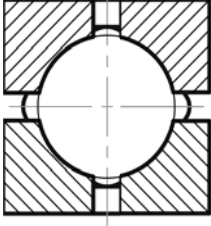
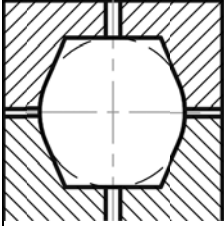
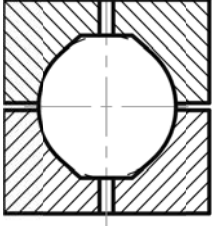
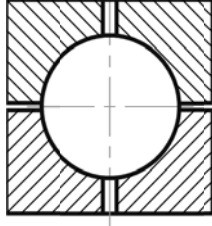
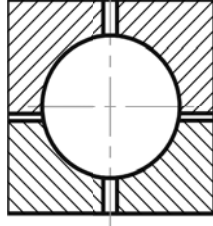
Існування багатьох схем холодного штампування заготовок кульок потребує їх детального аналізу з вибором раціональної для отримання кульок зменшеної собівартості для підшипників та заготовок кульок, які використовуються в кранах та інших пристроях.

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу існуючих схем холодного штампування заготовок кульок для підшипників, кранів, встановлення раціональної схеми для отримання заготовок кульок зменшеної собівартості та встановлення для неї енергосилових параметрів штампування, напружено-деформованого стану (НДС) заготовок та характеру заповнення гравюри штампу.

Для наочності приведемо порівняння різноманітних схем штампування заготовок кульок підшипників (табл. 1), на основі аналізу [1–3], які було перегруповано у відповідності до визначень щодо типів штампування заготовок кульок підшипників.

Таблиця 1

Порівняння схем штампування заготовок кульок

Схеми штампування				
Із облоєм		З малим облоєм	Без облою	
1. Із звичайним облоєм	2. Із великими конічними полюсами	3. Із малими конічними полюсами	4. Із сферичними полюсами	5. Із зміщеним роз'ємом
				
Форма вихідної заготовки				
Циліндрична	Циліндрична	Циліндрична	Фасонована	Фасонована
Переваги штампування				
1. Не потрібна велика точність вихідної заготовки. 3. Не потрібна додаткова операція фасонування вихідної заготовки.	1. Добре заповнення полюсів сфери. 2. Не потрібна додаткова операція фасонування вихідної заготовки	1. Добре заповнення полюсів сфери. 2. Не потрібна додаткова операція фасонування торців заготовки. 3. Достатньо високий КВМ.	1. Добре заповнення полюсів сфери. 2. Високий КВМ. 3. Рациональна макроструктура здеформованого металу, що підвищує довговічність шариків.	1. Добре заповнення полюсів сфери. 2. Високий КВМ. 3. Рациональна макроструктура здеформованого металу, що підвищує довговічність шариків.
Недоліки штампування				
1. Погане заповнення полюсів сфери. 2. Нерациональне розташування волокон металу в зоні полюсів, що приводить до зниження довговічності шариків. 3. Відносно низький КВМ.	1. Нерациональне розташування волокон металу в зоні полюсів, що приводить до зниження довговічності шариків. 2. Висока нерівномірність деформацій. 3. Невисокий КВМ.	1. Не достатньо рациональне розташування волокон металу в зоні полюсів, що призводить до зниження довговічності шариків.	1. Потрібні відносно точні заготовки. 2. Потрібна попередня операція фасонування вихідної заготовки.	1. Потрібні відносно точні заготовки. 2. Потрібна попередня операція фасонування вихідної заготовки.

Проаналізувавши таблицю, можна дійти висновку, що раціональними схемами для холодного штампування заготовок кульок підвищеної довговічності для підшипників є схеми 3, 4 та 5, завдяки відповідному розташуванню волокон здеформованого металу (раціональної макроструктури), високому коефіцієнту використання металу (КВМ) та заповненню полюсів заготовок кульок (верхньої і нижньої поверхні сфери).

Оскільки схеми 4 та 5 відрізняються між собою лише розміщенням роз'єму штампу (в схемі 5 він зміщений для полегшення виштовхування заготовки кульки з матриці), звідки слідує, що вони – подібні, однак схема 4 простіша при виготовленні деформуєчого інструменту.

Вихідні циліндричні заготовки для холодного штампування кульок отримують високопродуктивним методом безвідхідного різанням прутків зсувом. Такий процес приводить до овальності форми завдяки утворенню утяжин і ум'ятин та викривлення торців, що негативно впливає на формоутворення кульок та стійкість деформуєчого інструменту. Попереднє фасонування заготовок для штампування кульок, наприклад прокатуванням в штампі, дозволяє підвищити точність форми зовнішньої поверхні та паралельність торців і перпендикулярності їх вісі заготовки.

Тому для порівняльного розрахункового аналізу були вибрані схеми 3 та 4. Комп'ютерне моделювання процесів холодного штампування проведено в скінченно-елементному програмному продукті. Метал вважався пружно-пластичним зі зміцненням. При моделюванні враховані основні фактори, які впливають на формозміну металу при штампуванні: тертя на контактуючих поверхнях, пружні властивості металу, зміцнення, підвищення температури заготовки, вірогідність руйнування металу при формоутворенні. Деформуєчий інструмент вважався абсолютно жорстким.

Для аналізу холодного штампування було вибрано типорозмір кульки 1/2" (напівдюйма) та 1" (один дюйм) згідно з [6] із сталей ШХ-15 та 12Х18Н10Т. Розміри деформуєчого інструменту та вихідних заготовок було призначено у відповідності з рекомендаціями в [1–3] та, в відповідності із стандартами по [7–8], скореговано діаметри вихідних заготовок.

Розміри деформуєчого інструменту та вихідних заготовок для вказаних розмірів кульок приведені табл. 2. Схеми штампування, які підлягали розрахунковому аналізу, зображені на рис. 1. На рис. 1, а наведений вихідний стан перед штампуванням циліндричної заготовки, а на рис. 1, б – штампування фасонованої заготовки. Задача вісесиметрична, розглядали половини заготовок. Процес штампування відбувався наступним чином: заготовка 2 розміщується між деформуєчими інструментами пуансоном 1 та матрицею 3, що мають напівсферичні порожнини. Пуансон 1 може бути закріплений на рухомому повзуні ГКПА або в верхній половині штампі, матриця 3 – нерухома. Під час моделювання формоутворення заготовок кульок пуансон 1 рухається вниз, здійснює деформування заготовки 2 до отримання сферичної бокової поверхні. На вихідні заготовки наносили умовну координатну сітку для оцінки утворення макроструктури при штампуванні.

Перед штампуванням фасонованої заготовки було проведено моделювання отримання фасонованої заготовки холодним формоутворенням. При подальшому штампуванні кульки були враховані накопичені деформації і напруження, що отримані на попередній операції фасонування заготовки.

Вихідна циліндрична заготовка і фасонована заготовки з координатною сіткою показані на рис. 1, а–б. На рис. 1, в–г зображені здеформовані заготовки на кінцевій стадії штампування. По координатній сітці видно, що деформування фасонованої заготовки забезпечує більш рівномірне пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією.

Вказане буде позитивно впливати на надійність і довговічність кульок, особливо в підшипниках. Тому для проведення подальшого моделювання штампування заготовок кульок розмірами 1/2" та 1" із сталей ШХ-15 та 12Х18Н10Т використовували фасоновану вихідну заготовку.

Таблиця 2

Розміри інструменту та заготовок

Схема 4 (без облою)			Форма і розміри заготовок в міліметрах			
	Розміри в міліметрах			D = 8		
	Позн.	1/2 "		1 "	H = 20,63	
	D ₁	2,5	5,0			
	D ₂	13,46	25,92	D	9,0	18,0
	D _{сер}	13,5	26,0	d	3,0	6,0
b _M	1,0	2,0	H	23,0	43,0	
			h	13,8	21,5	

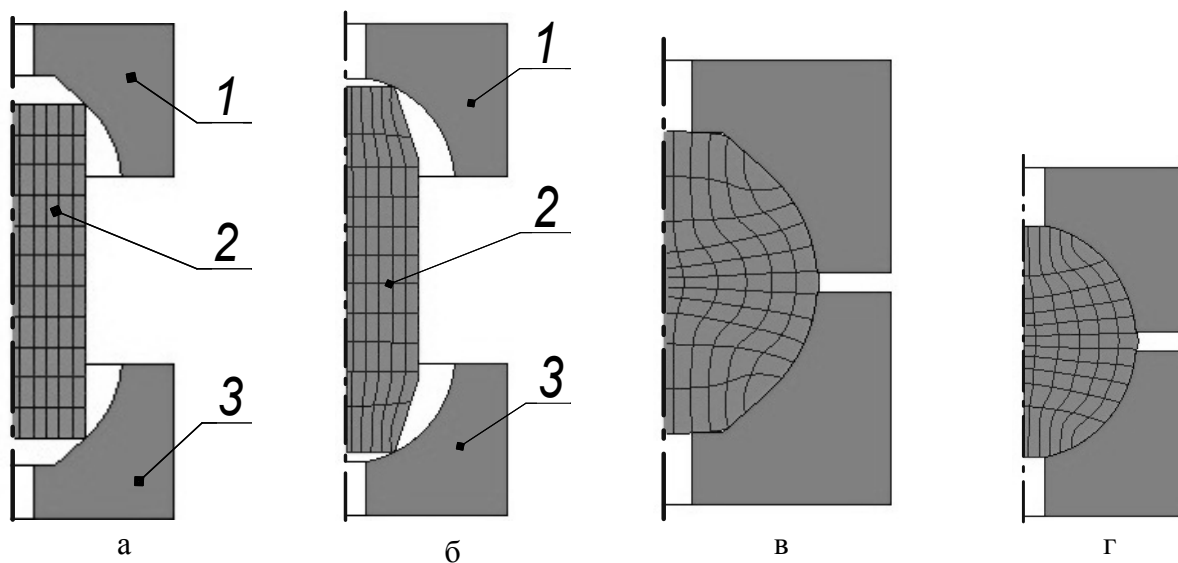


Рис. 1. Вхідний стан перед штампуванням та zdeформовані заготовки:

а, в – штампування циліндричної заготовки; б, г – штампування фасонованої заготовки

В результаті розрахунків були отримані залежності зусилля штампування від переміщення пуансону (рис. 2). Вигляд залежностей однаковий. При штампуванні кульок розміром 1/2" із сталі 12X18H10T (рис. 2, а) максимальне значення зусилля штампування менше на 16,6 % в порівнянні зі сталлю ШХ-15. При формоутворенні кульки розміром 1" таке зменшення складає 8,5 %.

Розподіли нормальних напружень по радіусу половини поверхні заготовки, яка контактує з пуансоном при максимальному зусиллі штампування зображені на рис. 3. Величини нормальних напружень для розглянутих розмірів заготовок і марок сталей знаходяться в межах, які можна використовувати в серійному і масовому виробництві при виготовленні заготовок кульок холодним штампуванням при умові використання бандажування матриць і пуансонів.

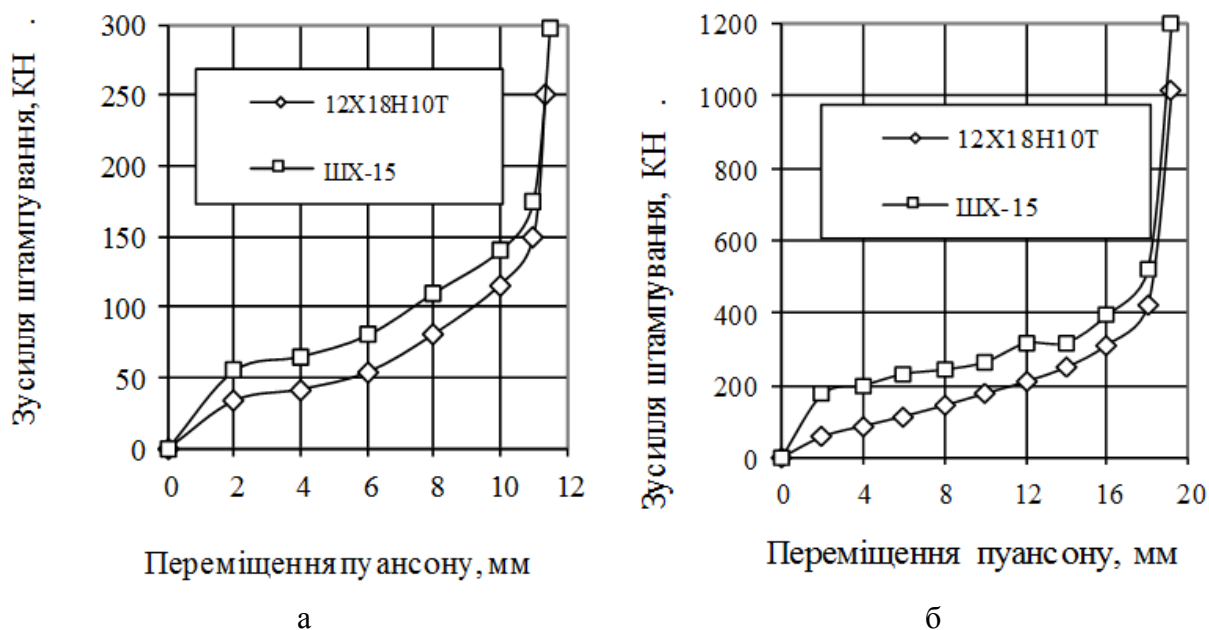


Рис. 2. Залежність зусилля штампування від переміщення пуансону:
а – для кульки 1/2"; б – для кульки 1"

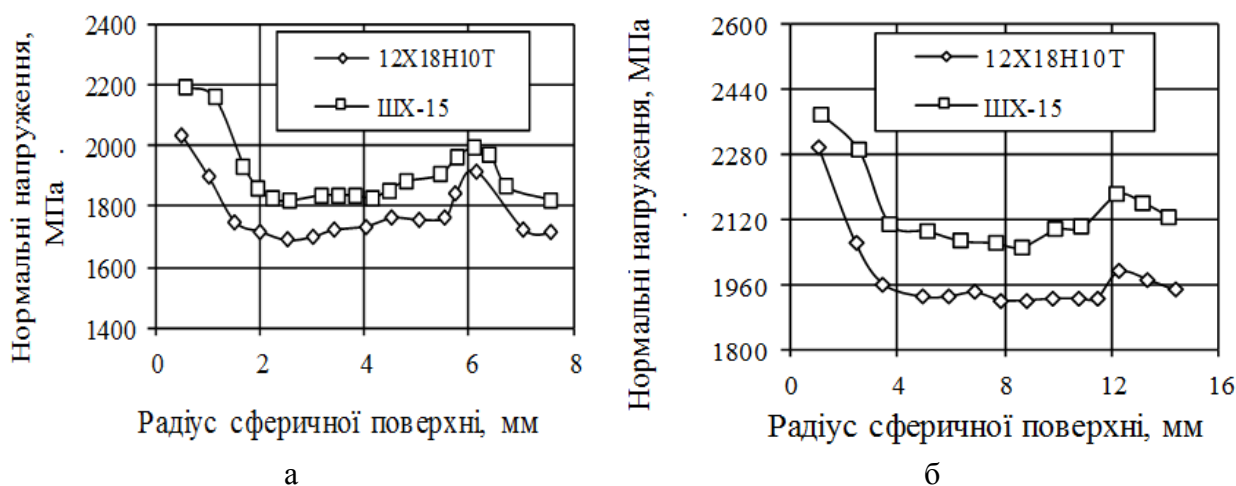


Рис. 3. Розподіл нормальних напружень на поверхні пуансону:
а – для кульки 1/2"; б – для кульки 1"

Розрахунковим аналізом встановлені величини температур в заготовці, які виникають при штампуванні заготовок кульок. Для прикладу, на рис. 4 приведені температурні поля в заготовках, що відштамповані із сталі ШХ-15. Розподіл температур приблизно однаковий, хоча при штампуванні заготовки більшого діаметру величини температури на 5–10 градусів більші. В верхній і нижній частинах заготовок температура досягає 120 градусів. По центру заготовки величини температур складають 250 градусів. Тому змащення, яке використовується при штампуванні, повинно бути термостійким і мати відповідну теплоємність для відводу тепла.

Встановлений напружено-деформований стан по об'єму здеформованих заготовок. Величину пропрацювання структури металу можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій. Величини вказаних деформацій однакові для розглянутих марок сталей і розподіли їх практично не залежить від розмірів здеформованих заготовок. На рис. 5 показано розподіл інтенсивності деформацій в заготовках кульок, які отримані із сталі ШХ-15. Інтенсивно деформується центральна частина заготовок.

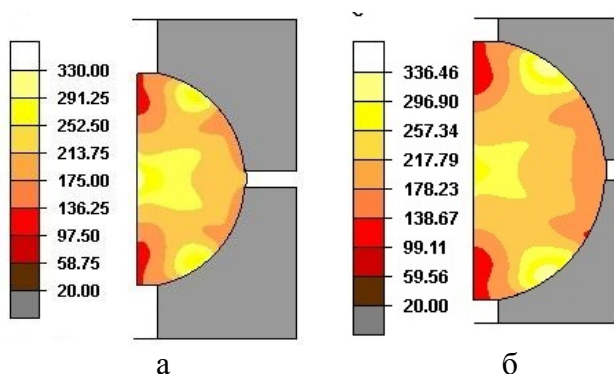


Рис. 4. Розподіл температурних полів в деформованих заготовках:
а – заготовка 1/2"; б – заготовка 1"

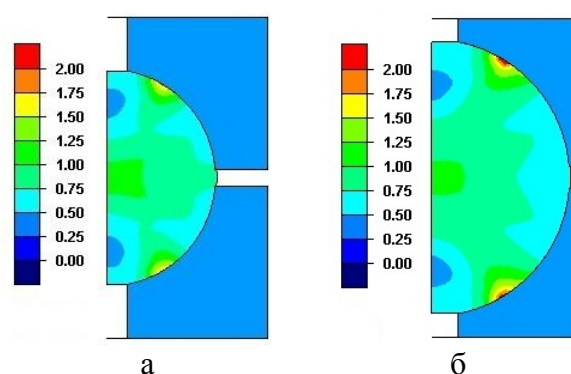


Рис. 5. Розподіл інтенсивності деформацій в заготовках із сталі 3Х-15:
а – заготовка 1/2"; б – заготовка 1"

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз відомих схем холодного об'ємного штампування заготовок кульок. Рациональною схемою штампування є отримання кульки з вихідної фасонованої заготовки, яка забезпечує при штампуванні утворення необхідної макроструктури для підвищення довговічності кульок та збільшення стійкості деформуючого інструменту завдяки отриманню при фасонуванні торців, що паралельні між собою та перпендикулярні вісі заготовки.

Методом скінченних елементів проведений аналіз штампування заготовок кульок із сталей 3Х-15 і 12Х18Н10Т з використанням фасонованих заготовок.

Встановлені величини зусиль деформування та робота деформації. Виявлені розподіли нормальних напружень на деформуючому інструменті.

Визначені кінцеві розміри і напружено-деформований стан деформованих заготовок та розподіл температур, які виникають при штампуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Северденко В. П. Штамповка шариков / В. П. Северденко, В. С. Мураєв, Л. А. Олендер. – Минск : Наука и техника, 1972. – 208 с.
2. Холодная объемная штамповка : справочник / под ред. Г. А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1973. – 496 с.
3. Ковка и штамповка : справочник. В 4-х т. / ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 1987. – Т. 3. Холодная объемная штамповка / под ред. Г. А. Навроцкого. – 1987. – 384 с.
4. Логинов Ю. Н. Исследование штамповки шаров из цилиндрических заготовок / Ю. Н. Логинов, С. П. Буркин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1998. – № 10. – С. 34–37.
5. Калюжний В. Л. Розрахунковий аналіз холодного видавлювання заготовок деталі «кулька» для кулькових кранів методом скінченних елементів / В. Л. Калюжний, О. Л. Іващенко // Вестник НТУУ «КПІ». – М. : Машиностроение, 2007. – Вып. 52. – С. 12–19.
6. ГОСТ 3722-81. Подшипники качения. Шарики. Технические условия. – Взамен ГОСТ 3722-60 ; введ. 1981-04-17. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 14 с.
7. ГОСТ 4727-83. Проволока подшипниковая. Технические условия. – Взамен ГОСТ 4227-67 ; введ. 1983-02-03. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 6 с.
8. ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая. Технические условия. – Взамен ГОСТ 801-60 ; введ. 1978-08-17. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 15 с.

Калюжний В. Л. – д-р. тех. наук., проф. НТУУ «КПІ»;

Суботенко Г. М. – студент НТУУ «КПІ».

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

E-mail: k_OMD@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 11.02.2013 р.