

УДК 621.73.016

Кліско А.В.

НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

## РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ФЛАНЦЯ ПРИ ШТАМПУВАННІ ОБКОЧУВАННЯМ З АКТИВНИМИ СИЛАМИ ТЕРТЯ

Klisko A.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine ([andrey.klisko@gmail.com](mailto:andrey.klisko@gmail.com))

### THE RESULTS OF COMPUTER SIMULATION OF FORMATION OF FLANGE AT ROTARY FORGING WITH ACTIVE FORCES OF FRICTION

*Стаття присвячена вдосконаленню процесів штампування обкочуванням при холодному об'ємному формоутворенні деталей складної форми з метою надання їм нових якісних і кількісних характеристик. Однією з особливостей прояву технологічних особливостей при штампуванні обкочуванням є якісний вплив сил контактного тертя, яке, в основному, і обумовлює переваги методу. Розглянуті передумови утворення та застосування активних сил тертя, що дає можливість цілеспрямованого керування течією металу в заданому напрямку. Показані отримані результати комп'ютерного моделювання формоутворення фланця при штампуванні обкочуванням з активними силами тертя, а саме: розподіл нормальних тисків на контакті інструмента із заготовкою, порівняння швидкості течії матеріалу на вільній торцевій поверхні заготовки, порівняльні графіки зміни зусилля деформування від осевого переміщення та форма утворюючої бічної поверхні заготовки після пресування*

*Ключові слова:* штампування обкочуванням, активні сили тертя, комп'ютерне моделювання

**Вступ.** Вдосконалення процесів штампування обкочуванням (ШО) при холодному об'ємному формоутворенні деталей складної форми, надання їм нових якісних і кількісних характеристик є пріоритетним напрямом наукових досліджень, що проводяться на кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ «КПІ». Однією з особливостей прояву технологічних особливостей при ШО є якісний вплив сил контактного тертя, яке, в основному, і обумовлює переваги методу. За звичай ШО виконують з намаганням мінімізувати або врахувати мінімальний вплив контактного тертя [1, 2]. При цьому слід зауважити, що складова роботи сил тертя в балансі робіт в десятки разів менша ніж в традиційних процесах обробки металів тиском [3, 4].

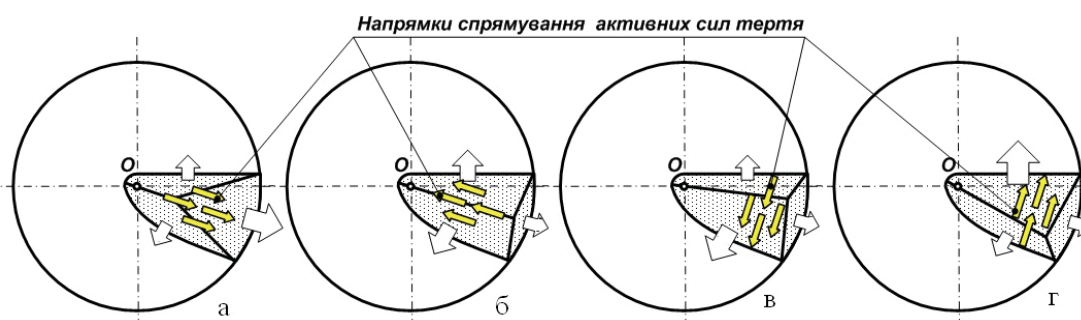
На відміну від традиційних технологій обробки тиском при ШО інструмент по відношенню до заготовки виконує декілька суміжних силових дій (в осевому напрямку та від обкочування), що надає можливості до раціонального застосування сил контактного тертя, які викликаються кожною з дій. Зокрема, в [5] розглянуті концептуальні питання щодо можливості утворення і застосування активних сил тертя при об'ємному ШО, але повністю відсутні як якісні, так і кількісні результати їх застосування. В [6], також в концептуальному плані, запропонований технологічний процес зовнішнього або внутрішнього відбортуння трубчастої заготовки із утворенням активних сил тертя при ШО в центральному або радіальному напрямку. Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити висновки: по-перше, що ШО з додатковим утворенням сил, які сприяють інтенсифікації процесу у вигляді цілеспрямованих сил тертя, є перспективним напрямом розвитку цього виду об'ємного формоутворення; по-друге, під інтенсифікацією процесу вбачається не тільки підвищення загальної продуктивності при ШО за рахунок цілеспрямованого формоутворення, а і отримання інших якісних і кількісних характеристик процесу ШО і виробництва, що досягаються не за рахунок його простого розширення; по-третє, визначитись з можливостями і напрямками інтенсифікації параметрів ШО та властивостей самого виробу, при яких досягаються нові якісні і кількісні корисні властивості, зокрема, енергосилові, кінематичні, механічні, геометричні та ін. Таким чином утворився потужний «інструмент», якому потрібно знайти напрямки і межі технологічного застосування.

**Мета роботи.** На підставі комп'ютерного моделювання визначити напрямки раціонального застосування процесу ШО в поєднанні з активними силами тертя.

### Методики та результати досліджень

Цілеспрямоване утворення сил контактної тертя дозволяє отримати стійких ефект скерованого напрямку течії матеріалу в контактному осередку. На відміну від традиційних процесів в реальних умовах ШО керування напрямками течії металу можна відтворити відносно невідповідністю швидкостей між активним інструментом і заготовкою під час пластичного деформування обкочуванням. Через те, що складова роботи сил тертя в балансі робіт в десятки разів менша ніж в традиційних процесах обробки металів тиском, то можна стверджувати, що визначене підвищення складової роботи сил тертя фактично не впливає на загальні енерговитрати, а отриманий результат примусового спрямування металу в потрібному напрямку суттєво розширює технологічні можливості процесу з точки зору формоутворення.

Можливі різноманітні варіації утворення відносного ковзання між активним інструментом та заготовкою [7]. З метою дослідження енергосилових параметрів процесу було проведено комп'ютерне моделювання процесу формоутворення фланця на циліндричній заготовці з мінімальним впливом сил тертя та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному та тангенціальному напрямках. На рис. 1 надані схеми спрямування активних сил тертя та очікувану зміну напрямків течії металу в осередку деформації.



**Рис. 1.** Напрямки спрямування активних сил тертя при обкочуванні за годинниковою стрілкою: а – у радіальному напрямку від центру; б – у радіальному напрямку до центру; в – у тангенціальному напрямку, в напрямку обкочування; г – у тангенціальному напрямку, напрямку протилежному обкочуванню

Спрямування напрямків течії в радіальних напрямках забезпечують зміною розташування центру обкочування вздовж осі вище або нижче поверхні обкочування заготовки без примусового обертання рухомого інструменту. В такому разі його кутова швидкість обертання визначається при рівновазі сил тертя в тангенціальних напрямках на поверхні між рухомих інструментом і заготовкою.

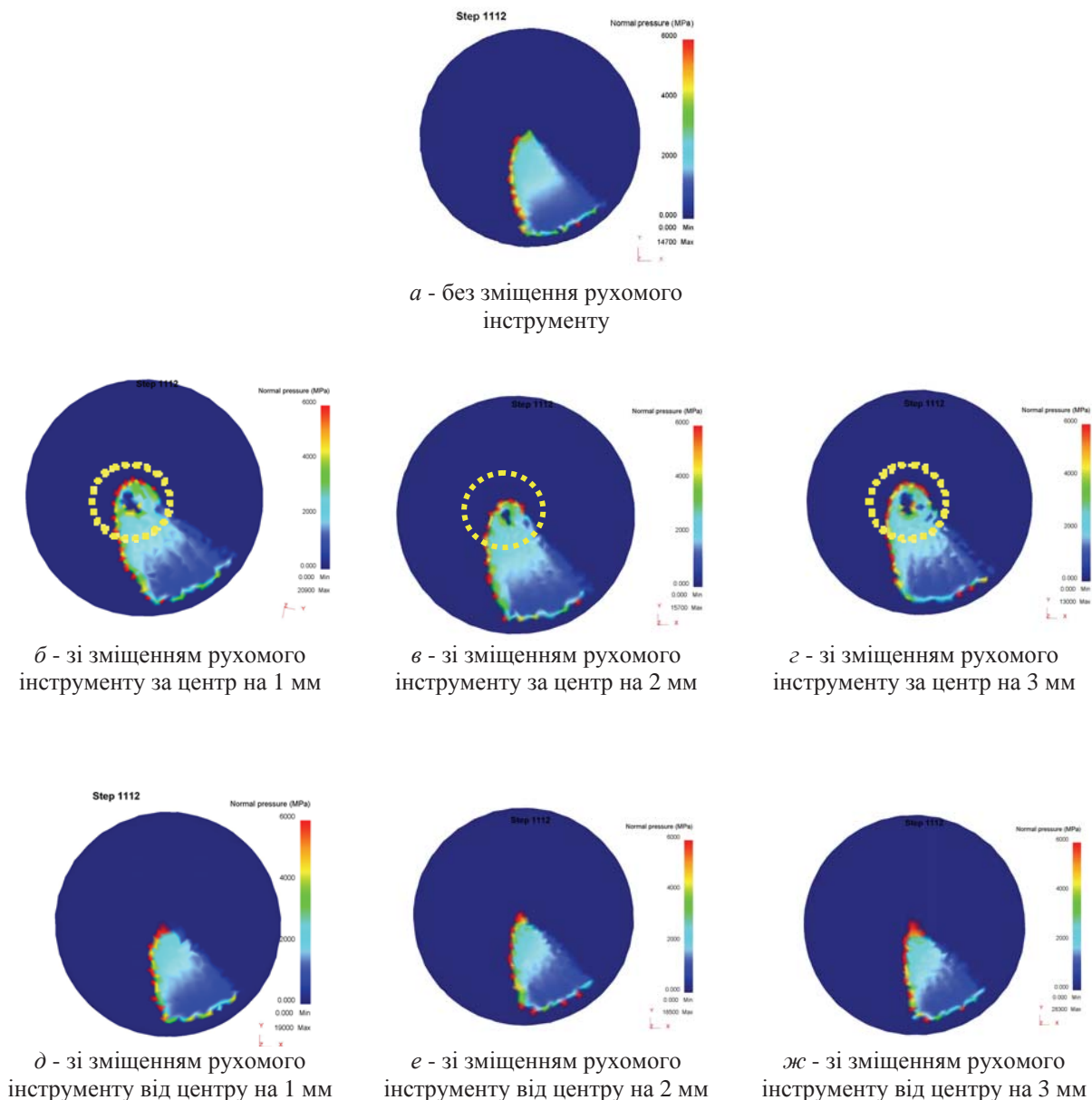
При розташуванні центру обкочування нижче поверхні обкочування (рис. 1,а) через невідповідності лінійних швидкостей на поверхні між рухомих інструментом і заготовкою виникне сумарна сила –  $F_p$ , яка буде спрямована у радіальному периферійному напрямку і в цьому ж напрямку буде спрямована примусова течія металу в контактній плямі між заготовкою і рухомих інструментом.

При розташуванні центру обкочування вище поверхні обкочування (випадак на рис. 1,б) через невідповідності лінійних швидкостей на поверхні між рухомих інструментом і заготовкою виникне сумарна сила, яка буде спрямована у радіальному центральному напрямку і в цьому ж напрямку буде спрямована примусова течія металу в контактній плямі між заготовкою і рухомих інструментом.

Спрямування напрямків течії в тангенціальних напрямках здійснюється наступним чином. Заготовку розміщують на штампі. Рухомий інструмент окрім рухів обкочування виконує примусові обертання вздовж своєї нахиленої осі. В залежності від напрямку додаткового обертання рухомого інструменту по відношенню до напрямку обкочування утворюється сумарна сила тертя, яка спрямована в напрямку відповідному до обертання (випадак на рис. 1,в та рис. 1,г).

Моделювання формоутворення фланця при штампуванні обкочуванням з активними силами тертя проводилось за допомогою програмного пакету DEFORM 3D. Характеристики моделювання: Матеріал – Сталь 20, Швидкість обкочування – 280 об/хв, діаметр зразку – 28мм, початкова висота зразку – 30 мм, кінцева висота – 20 мм. Результатом моделювання формоутворення фланця є порівняння відповідних за ступенем деформації параметрів: форма і розміри осередку деформації, кінцеве формоутворення бічної поверхні, швидкість течії металу, енергосилові параметри та інше.

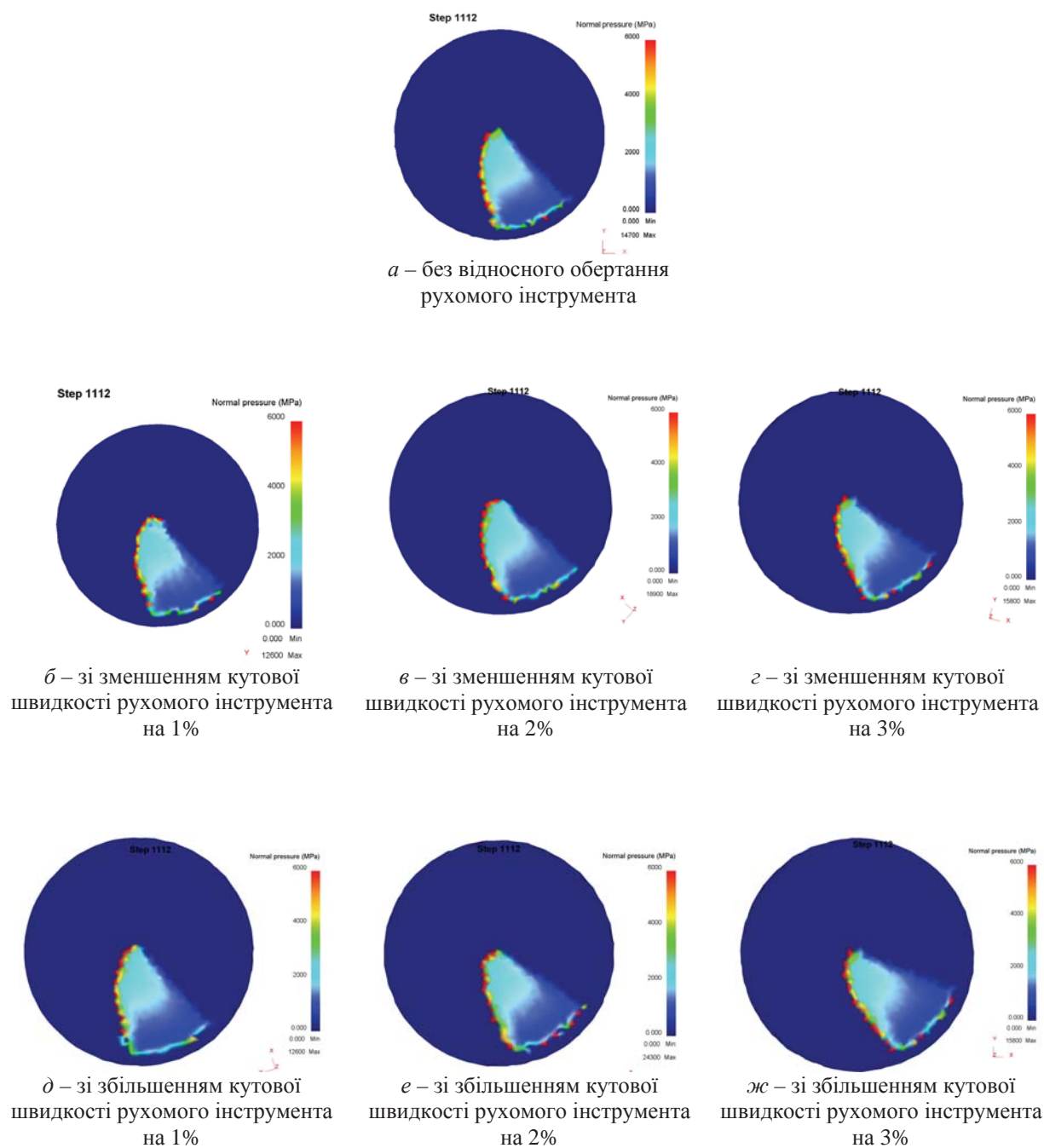
Порівняння розподілу нормальних тисків на контакті інструменту із заготовкою без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку показано на рис. 2.



**Рис. 2.** Розподіл нормальних тисків на контакті інструменту із заготовкою без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку шляхом зміщення центру обточування рухомого інструменту за центр або від центру заготовки: *a* – без утворення активних сил тертя; *б, в, г* – із утворення активних сил тертя в напрямку до центра; *д, е, ж* - із утворення активних сил тертя в напрямку від центра

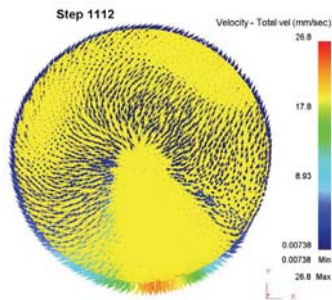
Осередок контакту при зміщенні центру коливач за центр заготовки приводить до збільшення контактної осередку і, навпаки, зміщення від центру приводить до його зменшення. Слід відмітити, що при зміщенні від центру максимальні нормальні напруження локалізуються в вершині контактної осередку, а при зміщенні за центр максимальні нормальні напруження локалізовані обабіч внутрішньої дуги контактної осередку.

Порівняння розподілу нормальних тисків на контакті інструменту із заготовкою без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку показано на рис. 3.

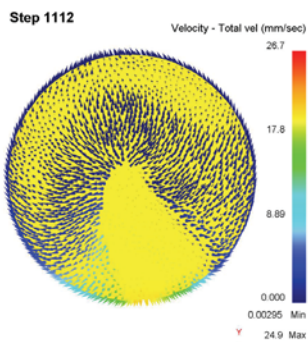


**Рис. 3.** Розподіл нормальних тисків на контакті інструменту із заготовкою без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку шляхом збільшення або зменшення кутової швидкості рухомого інструмента: *a* - без утворення активних сил тертя; *б, в, г* – зі спрямуванням активних сил тертя проти напрямку обточування; *д, е, ж* – зі спрямуванням активних сил тертя за напрямком обточування

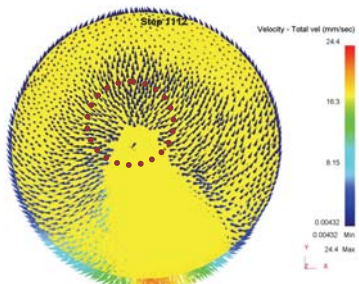
Порівняння швидкостей течії матеріалу на вільній торцевій поверхні без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку показано на рис. 4.



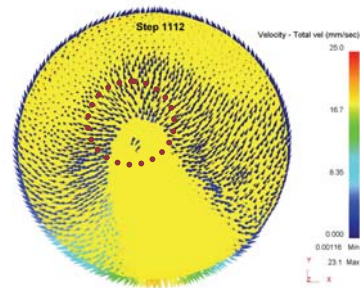
*a* - без зміщення рухомого інструменту



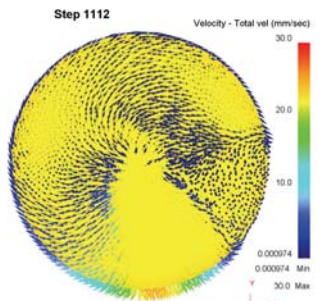
*б* - зі зміщенням рухомого інструменту за центр на 1 мм



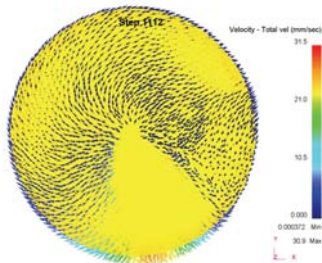
*в* - зі зміщенням рухомого інструменту за центр на 2 мм



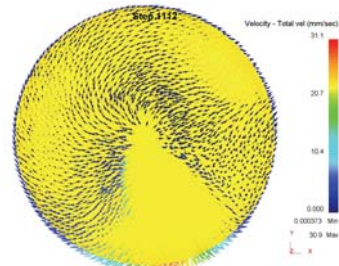
*г* - зі зміщенням рухомого інструменту за центр на 3 мм



*д* - зі зміщенням рухомого інструменту від центру на 1 мм



*е* - зі зміщенням рухомого інструменту від центру на 2 мм

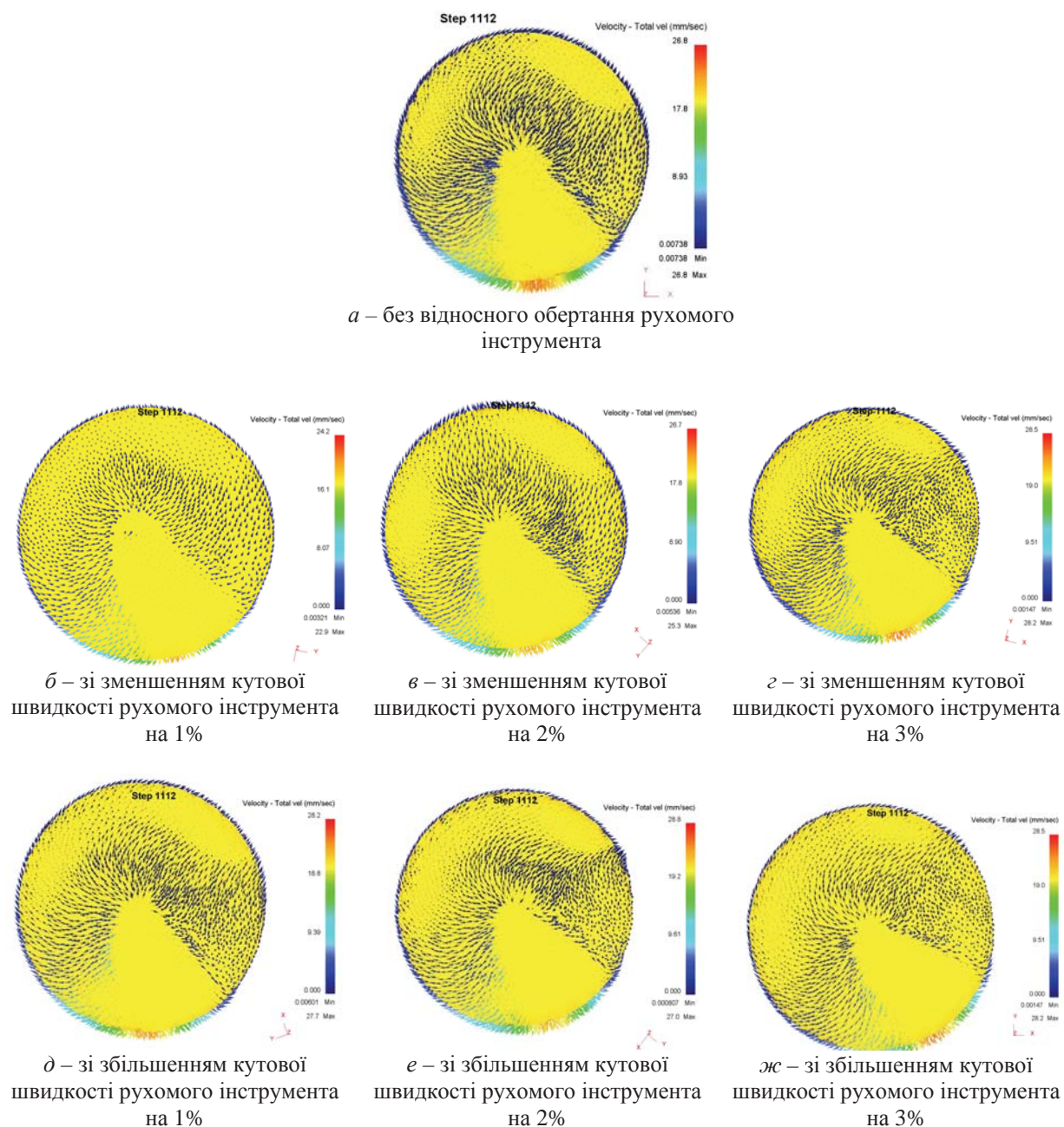


*ж* - зі зміщенням рухомого інструменту від центру на 3 мм

**Рис. 4.** Порівняння швидкості течії матеріалу на вільній торцевій поверхні без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку шляхом зміщенням центру обкочування рухомого інструменту за центр або від центру заготовки: *a* – без утворення активних сил тертя; *б, в, г* – із утворення активних сил тертя в напрямку до центра; *д, е, ж* - із утворення активних сил тертя в напрямку від центра

З аналізу виділених зон на рис. 2,б , рис. 2,в , рис. 2,г , рис. 4,в та рис. 4,г однозначно впливає, що центральний осередок заготовки на має контакту з інструментом що пов'язано з специфічною геометрією контакту між інструментом. Який заходить за центр заготовки і її торцевою поверхнею.

Порівняння швидкості течії матеріалу на вільній торцевій поверхні без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку показано на рис. 5.



**Рис. 5.** Порівняння швидкості течії матеріалу на вільній торцевій поверхні без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку шляхом збільшення або зменшення кутової швидкості рухомого інструмента: *a* - без утворення активних сил тертя; *б, в, г* – зі спрямуванням активних сил тертя проти напрямку обточування; *д, е, ж* – зі спрямуванням активних сил тертя за напрямком обточування

Порівняльні графіки зміни зусилля деформування без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку показані на рис. 6.

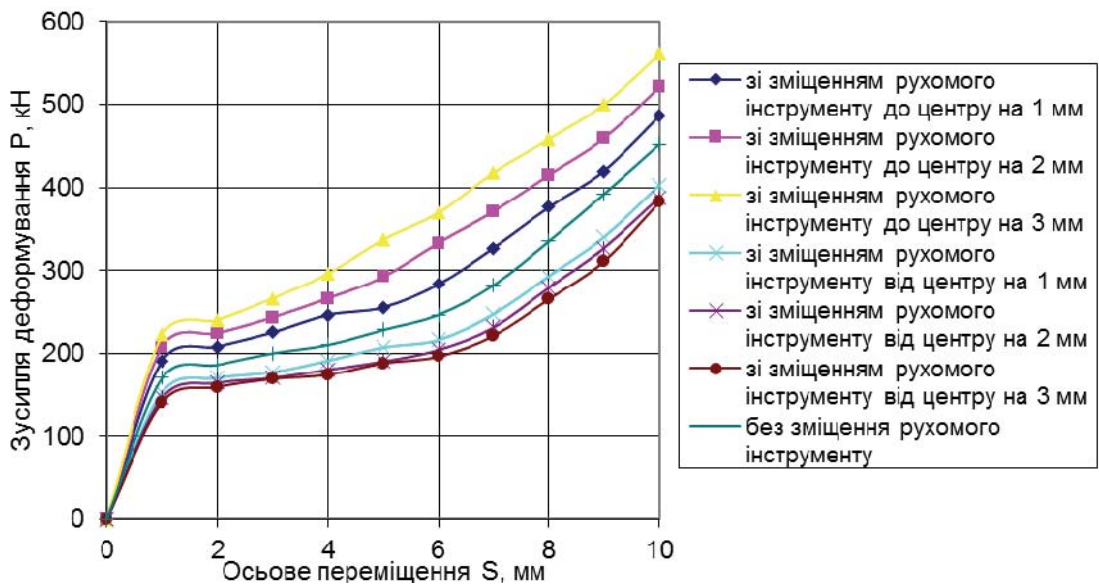


Рис. 6. Порівняльні графіки зміни зусилля деформування від осьового переміщення без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку зміщенням рухомого інструменту до центру або від центру заготовки

З аналізу графіків випливає, що розташування центра обточування значним чином впливає на загальне зусилля деформування. Для крайніх випадків зміщення (при зміщенні на  $\pm 3$ мм) в порівнянні з співпадінням центру обточування та центру деталі різниця зусиль досягає  $\pm 20\%$ , що є суттєвим з точки зору ефективності. Порівняльні графіки зміни зусилля деформування без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку показані на рис. 7.

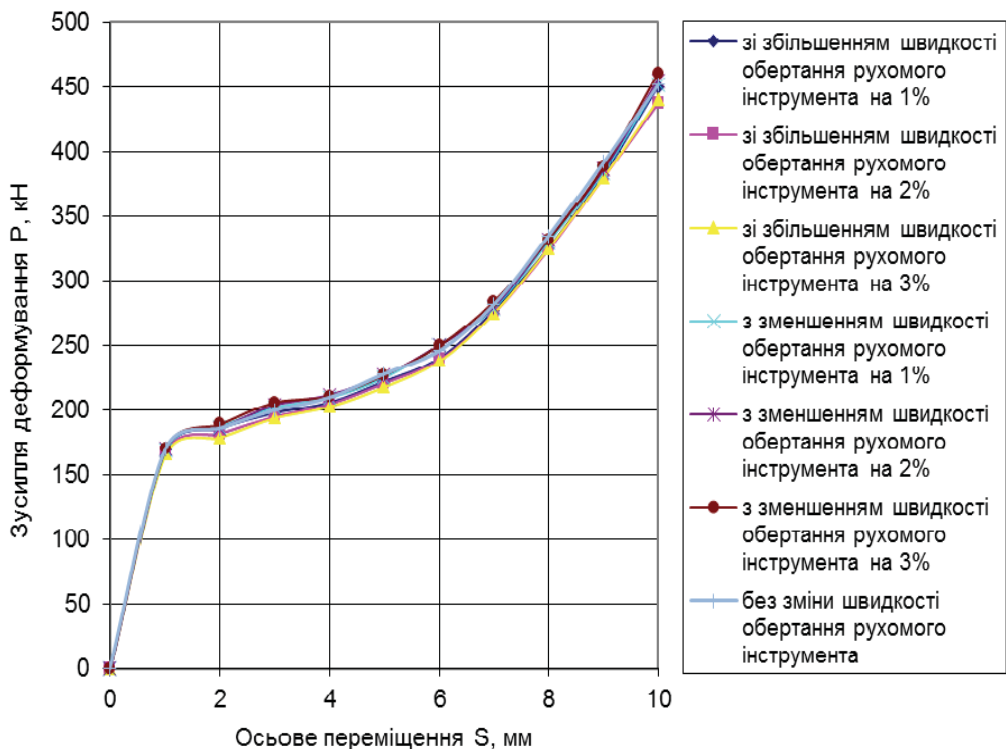
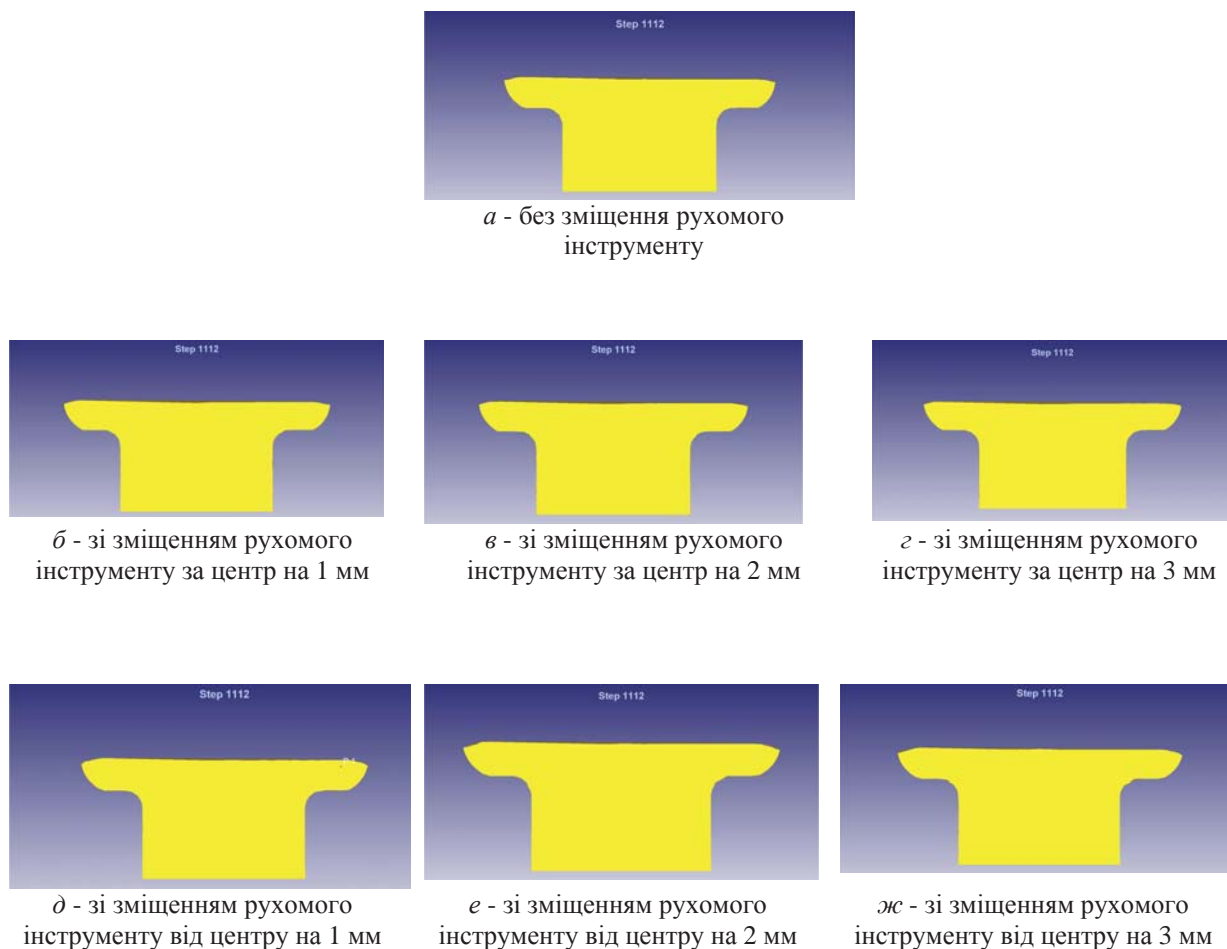


Рис. 7. Порівняльні графіки зміни зусилля деформування від осьового переміщення без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку шляхом збільшення або зменшення швидкості обертання рухомого інструмента

Порівняння формозміни утворюючої бічної поверхні заготовки без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку показані на рис. 8.

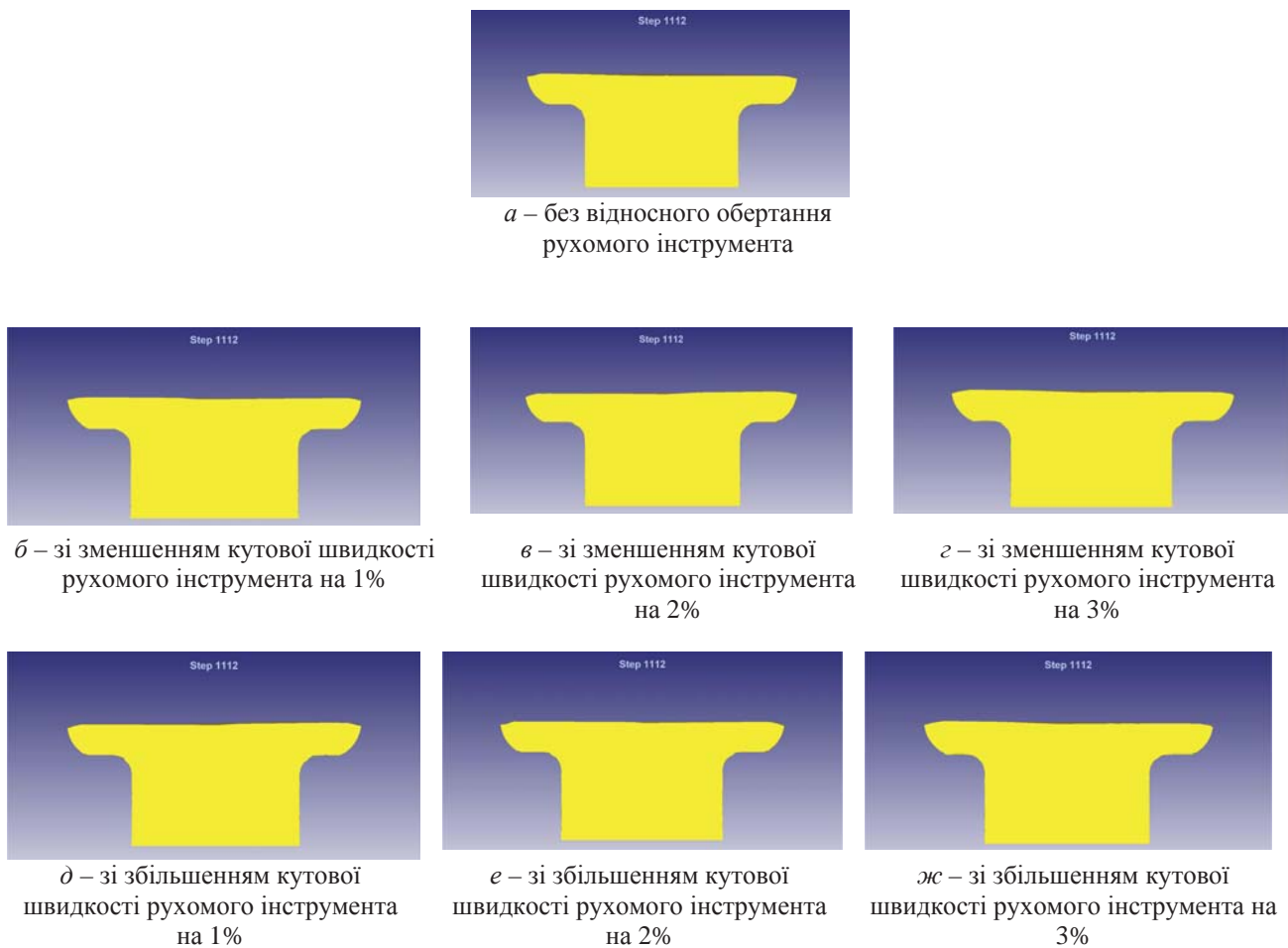


**Рис. 8. Форма утворюючої бічної поверхні заготовки після пресування без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у радіальному напрямку шляхом зміщення центру обкочування рухомого інструменту за центр або від центру заготовки: *a* – без утворення активних сил тертя; *б, в, г* – із утворення активних сил тертя в напрямку до центра; *д, е, ж* - із утворення активних сил тертя в напрямку від центра**

Практично повне співпадіння контурів заготовок при переміщенні розташування центру обкочування вгору на 0...3мм. Що свідчить про відсутність суттєвого впливу на формозміну. Це пояснюється тим, що вектор сил тертя спрямований до центру, а охоплююча частина заготовки утворює бар'єр, який неможливо здолати завдяки утвореним силам тертя. Для цих випадків притаманні максимальні значення середніх питомих зусиль, оскільки сили тертя спрямовані назустріч радіальній течії матеріалу для периферійної зони. Із переміщенням розташування центру обкочування до низу на 0...3мм збільшуються формозміна у вигляді вивертання верхньої торцевої поверхні фланця, що свідчить про інтенсивну течію матеріалу верхнього шару торця завдяки утвореним силам тертя. В цих варіантах середині питомі зусилля мінімальні і спадають, оскільки сили тертя спрямовані в напрямку радіальної течії матеріалу периферійної зони.

Порівняння формозміни утворюючої бічної поверхні заготовки без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку показані на рис. 9.





**Рис. 9.** Форма утворюючої бічної поверхні заготовки без та з цілеспрямованим утворенням активних сил тертя у тангенціальному напрямку шляхом збільшення або зменшення кутової швидкості рухомого інструмента: а - без утворення активних сил тертя; б, в, г – зі спрямуванням активних сил тертя проти напрямку обкочування; д, е, ж – зі спрямуванням активних сил тертя за напрямком обкочування

**Висновки.** Кероване формоутворення в заданому напрямку є новим інструментом ШО, яке дозволяє суттєво розширити технологічні можливості процесу. Порівняння енергосилових параметрів надає можливість стверджувати про їх зміни, зокрема при зміщенні центра обкочування нижче торцевої поверхні зменшується площа контактної осередку і зусилля деформування зменшується, а також визначити критичні значення зменшення контактної осередку. Примусова течія матеріалу в радіальному напрямку і в залежності від спрямування збільшує або зменшує зону позаконтактних деформацій в периферійній частині фланця та кривизну утворюючої бічної поверхні. Виникають загальні передумови щодо виникнення та позитивної дії в контактному осередку деформацій зсуву.

**Анотація.** Стаття посвячена удосконаленню процесів штамповки обкатыванием при холодном объемном формообразовании деталей сложной формы с целью придания им новых качественных и количественных характеристик. Одной из особенностей проявления технологических особенностей при штамповке обкатыванием является качественное влияние сил контактного трения, которое, в основном, и обуславливает преимущества метода. Рассмотрены предпосылки создания и применения активных сил трения, что дает возможность целенаправленного управления течением металла в заданном направлении. Показаны полученные результаты компьютерного моделирования формообразования фланца при штамповке обкатыванием с активными силами трения, а именно: распределение нормальных давлений на контакте инструмента с заготовкой, сравнение скорости течения материала на свободной торцевой поверхности заготовки, сравнительные графики изменения усилия деформирования от осевого перемещения и форма образующей боковой поверхности заготовки после прессования.

**Ключевые слова:** штамповка обкатыванием, активные силы трения, компьютерное моделирование

**Abstract.**

**Purpose.** Based on computer modeling determine Destinations of rational application process of rotary forging in conjunction with the active forces of friction.

**Design/methodology/approach.** Purposeful formation of contact friction force provides a persistent effect aiming direction of flow of the material in the contact cell. Unlike traditional processes in the real world rotary forging control metal flow lines can reproduce the relative velocity mismatch between the active tool and workpiece during plastic deformation at rotary forging. Since the component works frictional forces in balance work ten times smaller than conventional metal forming processes, it can be argued that the specified job raising component of friction force does not affect the overall energy consumption, and the results compulsory direction of the metal in the right direction significantly expanding the technological capabilities of the process in terms of the formation .

Simulation of forming a flange at rotary forging with active friction forces carried out using the software package DEFORM 3D. Characteristics modeling: Material - Steel 20, speed of rotation - 280 r / min, the sample diameter - 28 mm , the initial sample height - 30 mm, terminal height - 20 mm. Simulation results forming the flange is comparison of the degree of deformation parameters : the shape and size of cell deformation , the final formation of the lateral surface flow velocity metal energy-power parameters and more.

**Findings.** Comparison of energy-power parameters provides opportunities to assert their changes, in particular the shift in rotary forging lower end surface of the contact area is reduced and cell deformation force is reduced, and identify the critical values decrease cell contact. Forced flow of material in the radial direction and, depending on the direction of increases or decreases the area uncontact strains in the peripheral part of the flange and forming a lateral curvature of the surface. There are general prerequisites for the emergence and positive action in the contact center of shear strains.

**Originality/value.** Controlled formation in a given direction is the new rotary forging tool that allows you to significantly expand the technological capabilities of the process.

**Keywords:** rotary forging, active friction force, computer simulation

**Бібліографічний список використаної літератури**

1. Матвійчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов. Монография. / В.А.Матвійчук, І.С.Алієв. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 268 с.
2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке металлов давлением. Монография / В.А. Огородников; – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.
3. Гожій С.П. Знаходження роботи контактних сил тертя при штампуванні обкочуванням. // Вісник двигунобудування. Запоріжжя, ОАО "Мотор-Січ". – 2006, № 4. - С. 108-111.
4. Гожій С.П. Визначення роботи контактних сил тертя при штампуванні обкочуванням з врахуванням розподілу контактних напружень та зони приставання. / С.П. Гожій, А.В. Кліско // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інституту". Серія Машинобудування. – 2010. № 59. – С. 83-87.
5. Гожий С.П. Интенсификация формообразования конструктивных элементов при штамповке обкатыванием с активными силами трения. / С.П. Гожий, А.В. Клиско, А.И. Носенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: "Нові рішення в сучасних технологіях". – Харків: НТУ "ХПІ" – 2011, - №45, - С. 113-119.
6. А.с. 1518059 СССР, МКИ В 21 D 37/12, в 21 Н 1/06. Устройство для раскатки осесимметричных деталей. / В.А.Матвійчук. (СССР). - № 4338868/31-27; заявл. 02.11.87; опубл. 30.10.89, БИ № 40.
7. Патент України на корисну модель №71357. С.П. Гожій, А.В. Кліско, Р.М. Ландар та ін. Спосіб обробки тиском. Бюл. №13 від 10.07.2012.

**References**

1. Matvijchuk V.A., Aliev I.S. Sovershenstvovanie processov lokal'noj rotacionnoj obrabotki davleniem na osnove analiza deformiruемости metallov. Monografija (Improving processes local rotary forming based on the analysis of deformability of metals. Monograph.) Kramatorsk: DGMA, 2009. 268 p.
2. Ogorodnikov V.A. Ocenka deformiruемости metallov pri obrabotke metallov davleniem. Monografija (Rating deformability of metals at metal forming. Monograph) Kiev: Vishha shkola. Golovnoe izd-vo, 1983. 175 p.
3. Gozhij S.P. Journal of the engine. Zaporozhye. ОАО "Motor-Sich", 2006, no 4. pp. 108-111.
4. Gozhij S.P., Klisko A.V. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute", 2010, no 59, pp. 83-87.
5. Gozhij S.P., Klisko A.V., Nosenko A.I. Journal of the National Technical University "Kharkov Politechnic Institute", 2011, no 45, pp. 113-119.
6. Matvijchuk V.A. Ustrojstvo dlja raskatki osesimmetrichnyh detalej. [Device for rolling axisymmetric parts]. A.s. 1518059 SSSR, МКИ В 21 D 37/12 (SSSR), no 4338868/31-27; Zajavleno 02.11.87; Opubl. 30.10.89
7. Gozhij S.P., Klisko A.V., Landar R.M. ta in. Sposib obrobki tiskom [Method of forming]. Patent Ukrainy no 71357 A.10.07.2012

Подана до редакції 25.12.2013