

УДК 621.777.4

ГРУДКІНА Н. С.

Донбаська державна машинобудівна академія

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОМБІНОВАНОГО РАДІАЛЬНО-ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬОВАНИХ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КІНЕМАТИЧНИХ МОДУЛІВ

Мета. Розширення можливостей методу кінематичних модулів для визначення величини приведенного тиску деформування та формоутворення напівфабрикату в процесах комбінованого радіально-прямого видавлювання складнопрофільованих порожнистих деталей. Отримання розрахункових залежностей, що дозволять прогнозувати дотримання необхідних розмірів деталі та оцінити можливість дефектоутворення.

Методика. Енергетичним методом на основі методу кінематичних модулів проведено дослідження основних факторів, які впливають на силовий режим деформування та особливості формоутворення напівфабрикату в процесах комбінованого видавлювання з декількома степенями свободи течії металу.

Результати. На основі енергетичного методу із використанням кінематичного модуля з двома степенями свободи течії металу отримано приведений тиск деформування розрахункової схеми комбінованого радіально-прямого видавлювання складнопрофільованих порожнистих деталей. Отримано залежності приростів напівфабрикату, які дають можливість проаналізувати вплив технологічних факторів на процес формоутворення та можливого дефектоутворення у вигляді утягнення.

Наукова новизна. Підтверджено можливості енергетичного методу із використанням кінематичних модулів з декількома степенями свободи течії металу для оцінки силового режиму та формоутворення напівфабрикату у процесах комбінованого видавлювання. Встановлено суттєвий вплив умов тертя та геометричних параметрів процесу на появу утягнення при комбінованому радіально-прямому видавлюванні складнопрофільованих порожнистих деталей.

Практична значимість. Отримані математичні залежності для розрахунку приведенного тиску деформування та приростів напівфабрикату у процесі комбінованого радіально-прямого видавлювання складнопрофільованих порожнистих деталей, що сприятиме більш активному впровадженню процесів комбінованого видавлювання на виробництві.

Ключові слова: енергетичний метод, комбіноване видавлювання, порожнисті деталі з фланцем.

Вступ. В контексті забезпеченні розвитку економіки України пріоритети визначаються пошуком та розробкою сучасних наукоємних технологій, на протипагу класичним способам формоутворення деталей шляхом зняття стружки. В реаліях сьогодення наявність різноманіття методів обробки металів тиском (ОМТ) ставить актуальну задачу вибору найбільш економічно обумовленого [1-4]. Дослідження останніх років ведуться як в напрямку вирішення конкретних практичних завдань [1,2,4], таких і с позиції розвитку теоретичних основ моделювання процесів деформування [3]. Перспективними ресурсозберігаючими технологіями наразі є процеси методів ОМТ, заснованих на холодній пластичній деформації, що дозволяють отримувати заготовки із розмірами і якістю, які наближаються до готових деталей, завдяки чому зменшується або повністю виключається доопрацювання різанням [4-7]. Стійка тенденція до розширення номенклатури і матеріалів деталей, отриманих із застосуванням процесів холодного видавлювання, вказує на

необхідність глибоких досліджень щодо визначення розширення технологічних можливостей цих процесів.

Розвиток процесів холодного видавлювання пов'язаний перш за все із розробкою і освоєнням саме процесів комбінованого радіально-поздовжнього видавлювання. Саме ці процеси з одного боку відкривають великі перспективи в виготовлення деталей складної конфігурації із фланцями та відростками різної форми. З іншого боку процеси комбінованого видавлювання з декількома степенями свободи течії металу проходять в саморегульованого режимі, що вимагає наявності попередньої оцінки не тільки силового режиму деформування, а і формозміни напівфабрикаті та дотримання необхідних розмірів. Таким чином, розвиток розрахункових моделей, що дозволять вирішити всі ці проблеми, заповнить нестачу рекомендацій щодо можливостей впровадження процесів комбінованого видавлювання на виробництві.

Постановка завдання. Основа частина робіт, присвячених дослідженню процесів комбінованого видавлювання, обмежена скінченно-елементним моделюванням або експериментальним дослідженнями і має вузько профільний характер [8-10]. При цьому основні результати стосуються визначення оптимального силового режиму деформування. Слід зазначити, що з точки зору розширення можливостей способів комбінованого видавлювання актуальними є питанням оцінки деформованого стану та дефектоутворення [3]. На даний час номенклатура на підприємствах машинобудування і приладобудування виробів містить велику кількість порожнистих деталей з фланцями та відростками різної форми. Однак при виготовленні їх комбінованим видавлюванням при певних умовах можливе виникнення дефектоутворення (утягнення, тріщини, складки та ін.), в тому числі невиконання форми і розмірів готового виробу.

Таким чином, рішення задач ефективного прогнозування формоутворення заготовки в процесах комбінованого видавлювання з декількома ступенями свободи течії металу заповнить нестачу рекомендацій щодо використання процесів комбінованого видавлювання на виробництві та сприятиме їх більш активному впровадженню.

Результати дослідження. Ефективним теоретичним методом дослідження процесів комбінованого видавлювання з декількома степенями свободи течії є енергетичний метод верхньої оцінки. Розвиток енергетичного методу на основі розробки нових кінематичних модулів складної конфігурації продемонстрований у роботах [11-13]. Ці дослідження в рамках використання кінематичних модулів складної конфігурації та двома степенями свободи течії металу вказують на можливості зниження прогнозованих силових режимів та уточнення даних щодо формозміни напівфабрикату.

Одним із основних етапів використання енергетичного методу балансу потужностей можна вважати побудову розрахункової схеми досліджуваного процесу як сукупності кінематичних модулів необхідної конфігурації. Підвищений інтерес до оцінки можливостей саме комбінованого видавлювання вимагає розширення бази уніфікованих кінематичних модулів із декількома степенями свободи течії металу. При цьому запорукою їх успішного використання є отримання аналітичного виразу величини приведенного тиску деформування розроблених кінематичних модулів та аналіз раціональності вбудовуваності в розрахункові схеми із урахуванням різної конфігурації суміжних модулів [11-13]. Це гарантує

оперативність використання даних модулів в рамках використання методу кінематичних модулів, що розглядає розрахункову схему процесу з точки зору елементів із відомими величинами потужності сил деформування, тертя та зсуву. Актуальними на даний час можна вважати кінематичні модулі із двома швидкостями витікання металу у радіальному та поздовжньому напрямках. При цьому кінематичний параметр, що визначає швидкість за поздовжнім напрямком (прямої чи зворотної течії) можна розглядати у вигляді варійованого. Визначення оптимального значення цього параметру надає можливості прогнозування приростів напівфабрикату за ходом процесу деформування.

На підприємствах машинобудування і приладобудування номенклатура виробів містить велику кількість порожнистих деталей з фланцями та відростками різної форми (рис. 1, а). Однак при певних умовах може спостерігатися виникнення дефектоутворення у вигляді утягнення, тріщин, в тому числі відхилення форми і розмірів готового виробу від необхідних (рис. 1, б).



Рис.1. Деталі, отримані комбінованим радіально-поздовжнім видавлюванням:
а) без дефектоутворення; б) з дефектоутворенням

Для розширення можливостей використання процесів холодного видавлювання запропоновано корисну модель на спосіб комбінованого видавлювання для виготовлення порожнистих деталей з профільованою зовнішньою поверхнею [14]. В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення відомого способу для отримання деталей з профільованою зовнішньою поверхнею у вигляді фланця, розташованого у донній частині деталі, тобто розширення технологічних можливостей процесу і номенклатури порожнистих деталей, що виготовляються. Пропонований спосіб дозволяє за рахунок використання прийому додаткового радіального переміщення (видавлювання) металу на другій заключній стадії процесу комбінованого радіально-прямого видавлювання одержувати складнопрофільовані порожнисті деталі типу стаканів з фланцем на бічній поверхні, розташованим в придонній частині деталі. Спосіб реалізується на устаткуванні, що вміщує здатні до незалежного поздовжнього переміщення (від індивідуальних приводів) робочі інструменти: деформуючі – пуансон 1 і контрпуансон 2; формоутворюючі – матриця, яка вміщує верхню півматрицю 3 і нижню півматрицю 4 діаметру $d_1=2R_1$. Вихідну заготовку 5 діаметру $d_0=2R_0$ розміщують в порожнині матриці (півматриць 3 і 4) до торцю контрпуансону 2 і, впливаючи з швидкістю V_1 пуансоном 1, видавлюють у радіальному (поперечному) напрямку в поперечний зазор (прийомну порожнину), утворений

півматрицями 3 і 4, які установлені таким чином, що величина зазору (висота прийомної порожнини) дорівнює h . У початковій стадії процесу деформування метал тече радіально, а після досягнення периферійної (кутової) зони розвороту або просторового вигину й зіткнення зі стінкою півматриці 4 змінює напрямку течії на пряме (на 90°), тече паралельно осі симетрії, утворюючи прямим видавлюванням стінку деталі і циліндричну порожнисту ділянку. Півматриці 3 і 4 здібні до переміщення вздовж осі симетрії в залежності від потрібної товщини стінки порожнистої деталі і відповідно величини поперечного зазору h , що ними створено (рис.2, а).

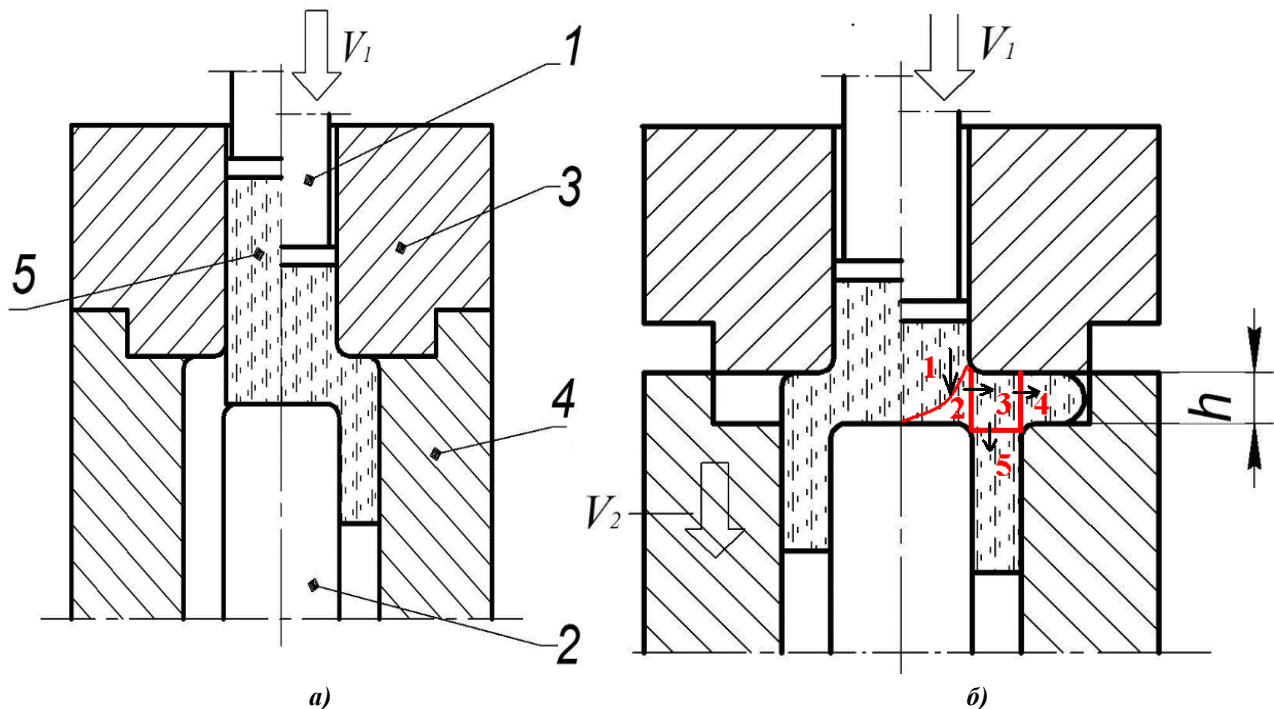


Рис.2. Спосіб комбінованого радіально-прямого видавлювання порожнистих деталей:
а) перший етап; б) другий етап

На другого етапі для формування фланця на бічній поверхні деталі й одержання фасонного зовнішнього профілю деталі виконують додаткове радіальне переміщення (видавлювання) металу в зоні розвороту напрямку течії металу (з радіального на прямий), тобто в придонній частині півфабрикату. Для цього змінюють положення півматриці 4 її переміщенням вниз з швидкістю V_2 і створюють додаткову прийомну кругову порожнину в матриці (рис.2, б). Розрахунки енергетичним методом не викликають труднощів. Для другого етапу необхідно провести розрахунки кінематичного модуля 3 (рис. 2, б) з двома степенями течії металу, що описує можливість формування зовнішнього профілю деталі за рахунок радіального видавлювання металу (модуль 4, рис. 2,б) в зоні розвороту напрямку течії металу з радіального на прямий (модуль 5, рис. 2, б). При цьому із урахуванням внутрішнього R_0 та зовнішнього R_1 радіусів кінематичного модуля 3 та його висоти h (товщини фланцевої зони) кінематично можливе поле швидкостей (КМПШ) приймає вигляд:

$$\begin{cases} v_{z3} = \frac{2R_0\lambda v_2}{R_1^2 - R_0^2} (z - h), \\ v_{r3} = \frac{R_0 v_2 (R_1^2 - R_0^2 + \lambda(R_0^2 - r^2))}{(R_1^2 - R_0^2)r}, \end{cases} \quad (1)$$

де $v_2 = \frac{V_0 R_0}{2h}$, $\lambda \in [0,1]$.

Для другого етапу деформування за запропонованим способом комбінованого видавлювання згідно з (1) приведений тиск деформування кінематичного модуля 3 та 4 із урахуванням потужності сил деформування, зсуву та тертя для суміжних модулів 2, 4 і 5 набуває вигляду:

$$\bar{p}_{3-II} = \frac{1}{\sqrt{3}(R_1^2 - R_0^2)} \left[t_2 - t_1 + A \ln \left| \frac{(t_1 + A)R_1^2}{(t_2 + A)R_0^2} \right| + 2(1 - \lambda)(R_1^2 - R_0^2) \ln \left(1 + \frac{\Delta l_2}{R_1} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1 + 2\mu_{s2}}{h} \left((R_1^2 + R_0^2(\lambda - 1))(R_1 - R_0) - \lambda \frac{R_1^3 - R_0^3}{3} \right) + hR_1 + \right. \\ \left. + \frac{h}{R_0} |R_1^2 - R_0^2(\lambda - 1)| + 4\mu_{s2}(1 - \lambda) \frac{R_1^2 - R_0^2}{h} l_2 + 4\mu_{s1}(R_0 + R_1) \Delta l_1 \right], \quad (2)$$

де $A = R_1^2 - R_0^2(1 - \lambda)$, $t_1 = \sqrt{3\lambda^2 R_1^4 + A^2}$, $t_2 = \sqrt{3\lambda^2 R_0^4 + A^2}$, Δl_1 та Δl_2 – прирости напівфабрикату у відростку (модуль 5) та зовнішній фланцевій зоні (модуль 4), μ_{s1} та μ_{s2} – коефіцієнти тертя для радіальної складової та відростку відповідно.

Це надає можливість дослідити оптимальне значення параметру λ , що визначає швидкість течії металу при прямому видавлюванні для формування відростку, приведенного тиску деформування \bar{p}_{3-II} та визначити прирости напівфабрикату за ходом процесу за різних технологічних параметрів:

$$\begin{cases} \Delta l_{1i} = \Delta l_{i-1} + \lambda_{i-1} \cdot \frac{R_0^2}{R_1^2 - R_0^2} \cdot \Delta, \\ \Delta l_{2i} = \sqrt{\frac{R_0^2 \Delta H_x - (R_1^2 - R_0^2) \Delta l_{1i}}{h} + R_1^2 - R_1}, \end{cases} \quad (3)$$

де i – номер ітерації, Δ – крок ітерації.

Умови тертя є досить впливовим фактором як на силовий режим (рис. 3, а), так і на формоутворення напівфабрикату (рис. 3, б). Для параметрів процесу $R_0=25$ мм, $R_1=35$ мм, $h=4.5$ мм характер кривих приведенного тиску деформування \bar{p}_{3-II} аналогічний за різних умов, найбільше значення набуває при найгіршому комплексі $\mu_{s1}=\mu_{s2}=0.08$. Прирости напівфабрикату Δl_1 у зоні 5, що формує відросток, демонструють достатньо великий діапазон можливого формоутворення за ідеальних умов тертя у фланцевій зоні та найгірших у зоні

відростку чи навпаки (нижня та верхня криві, рис.3, б). Тому дані технологічні параметри можна вважати такими, що суттєво впливають на формозмінення заготовки. Особливу увагу привертають відмінності у приростах напівфабрикату у зоні відростку за різних товщин фланцевої зони h при зберіганні інших параметрів процесу та умов тертя $\mu_{s1}=\mu_{s2}=0,08$ (рис. 4, а).

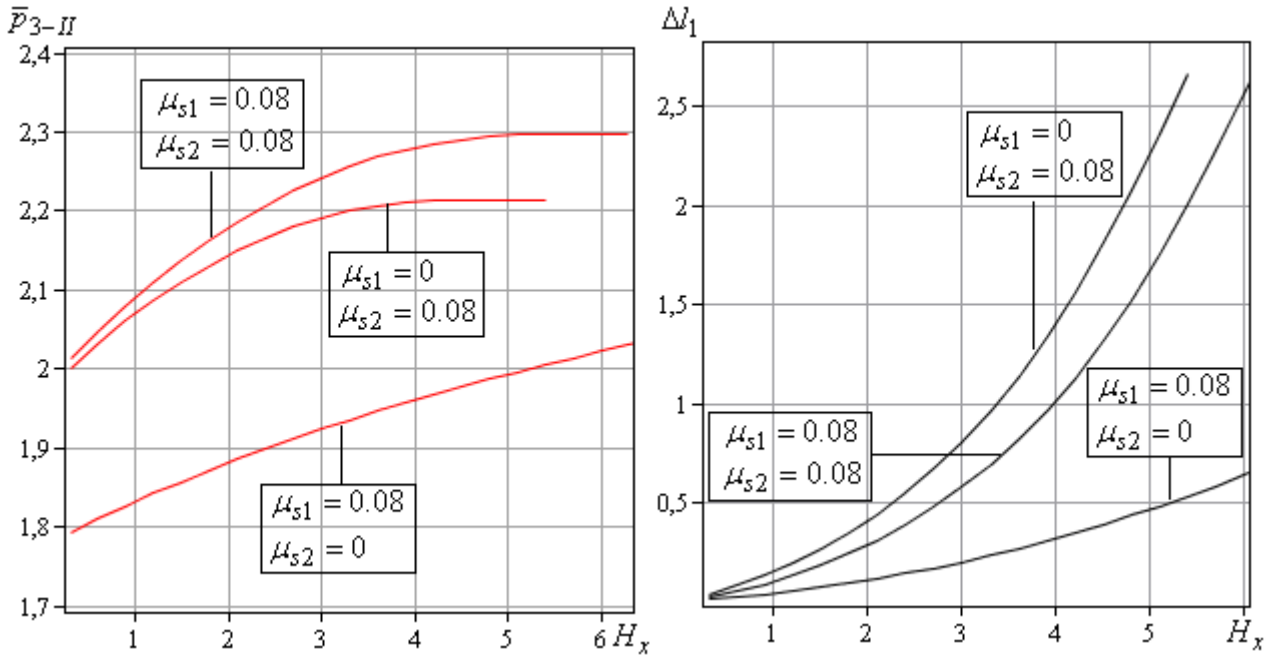


Рис. 3. Залежності силових параметрів та формоутворення від ходу процесу H_x за різних умов тертя: а) приведенного тиску деформування \bar{P}_{3-II} ; б) приростів відростку ΔL_1

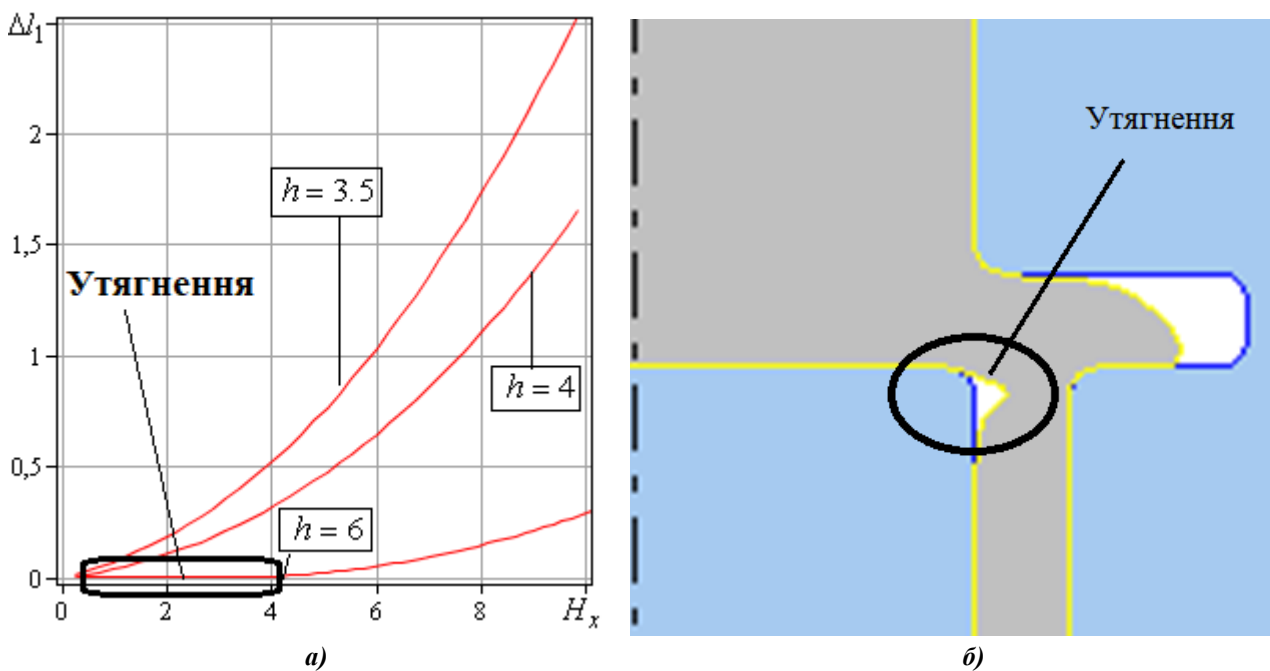


Рис. 4. Формоутворення деталі від ходу процесу із появою утягнення: а) теоретично отримані дані; б) моделювання у Qform2/3d

В результаті розроблений кінематичний модуль 3 дозволяє побудувати розрахункову схему процесу комбінованого радіально-прямого видавлювання з визначення даних щодо силового режиму та формоутворення напівфабрикату із можливістю визначення появи дефекту у вигляді утягнення.

Таким чином, за допомогою отриманого виразу приведенного тиску деформування (2) та приростів напівфабрикату (3) можна прогнозувати силовий режим та формоутворення (із можливістю дефектоутворення у вигляді утягнення) у процесі комбінованого радіально-прямого видавлювання. Отримані розрахунки дозволяють оцінити можливості використання процесу комбінованого видавлювання за запропонованим способом у два етапи для отримання складнопрофільованих порожнистих деталей типу стаканів з фланцем на бічній поверхні, розташованим в придонній частині деталі.

Висновки. Запропоновано спосіб комбінованого видавлювання для виготовлення складнопрофільованих порожнистих деталей із формуванням на заключному етапі зовнішнього фланця на бічній поверхні, розташованим в придонній частині деталі. Отримано приведений тиск деформування розрахункової схеми із використанням кінематичного модуля з двома степенями свободи течії металу. Це дозволило отримати дані щодо оцінки оптимального силового режиму деформування від параметру λ , що визначає швидкість течії металу при прямому видавлюванні для формування відростку та формоутворення напівфабрикату. Встановлено суттєвий вплив умов тертя на прирости напівфабрикату та продемонстровано можливості побудованої розрахункової схеми для прогнозування дефектоутворення у вигляді утягнення. Отримані результати свідчать про перспективність використання методу кінематичних модулів для оцінки силового режиму деформування, прогнозування формоутворення напівфабрикату та сприятимуть більш активному впровадженню процесів комбінованого видавлювання на виробництві.

Література

1. Dragobetskii V. Application of explosion treatment methods for production items of powder materials. / Dragobetskii V., Zagirnyak V., Shlyk S., Shapoval A., Naumova O. // Przegląd Elektrotechniczny – 2019. – Vol. 5 (95). – P. 39-42. DOI: 10.15199/48.2019.05.10;
2. Markov O. Development of the metal rheology model of high-temperature deformation for modeling by finite element method. / Markov O., Gerasimenko O., Aliieva L., Shapoval A. // EUREKA: Physics and Engineering – 2019. – No. 2. – P. 52–60. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00877;
3. Ogorodnikov V.A. On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading / Ogorodnikov, V.A., Dereven'ko, I.A., Sivak, R.I. // Materials Science – 2018. – No. 54 (3). – P. 326–332, doi: 10.1007/s11003-018-0188-x;
4. Алиев И.С. Технологические возможности

References

1. Dragobetskii, V., Zagirnyak, V., Shlyk, S., Shapoval, A., Naumova, O. (2019). Application of explosion treatment methods for production items of powder materials. *Przegląd Elektrotechniczny*. vol. 5 (95), pp. 39-42. DOI: 10.15199/48.2019.05.10. [in English];
2. Markov, O., Gerasimenko, O., Aliieva, L., Shapoval, A. (2019). Development of the metal rheology model of high-temperature deformation for modeling by finite element method. *EUREKA: Physics and Engineering*, No. 2, pp. 52–60. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00877. [in English];
3. Ogorodnikov, V.A., Dereven'ko, I.A., Sivak, R.I. (2018). On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading, *Materials Science*, No. 54 (3), pp. 326–332. doi: 10.1007/s11003-018-0188-x. [in English];
4. Aliev, I.S. (1990). *Tehnologicheskie vozmozhnosti*

- нових способів комбінованого видавлювання / Алиев И.С. // Кузнечно-штамповочное производство – 1990. – № 2. – С. 7–10;
5. Bhaduri A. Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys / Bhaduri A. // Springer Series in Materials Science – 2018. – No. 264. – P. 599-646. doi: [10.1007/978-981-10-7209-3_13](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13);
6. Perig, A.: Two-parameter Rigid Block Approach to Upper Bound Analysis of Equal Channel Angular Extrusion through a Segal 2θ-die, Materials Research-Ibero-American Journal of Materials, Vol. 18, No. 3, pp. 628-638, 2015, doi: 10.1590/1516-1439.004215.
7. Kalyuzhnyi V.L. Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts / Kalyuzhnyi V.L., Aliieva L.I., Kartamyshev D.A., Savchinskii I.G. // Metallurgist – 2017. – Vol. 61, Issue 5-6. – P.359-365. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0501-1>;
8. Jafarzadeh H. Numerical studies of some important design factors in radial–forward extrusion process / Jafarzadeh H., Zadshakoyan M., Abdi Sobbouhi E. // Materials and Manufacturing Processes – 2010. – No. 25. – P. 857–863;
9. Seo J.M. Forming Load Characteristics of Forward and Backward Tube Extrusion Process in Combined Operation / Seo J.M. et al. // Key Engineering Materials – 2007. – Vol. 340-341. – P. 649-654;
10. Noh J. Influence of Punch Face Angle and Reduction on Flow Mode in Backward and Combined Radial Backward Extrusion Process / Noh J., Hwang B.B., Le H.Y. // Metals and Materials International – 2015. – Vol. 21. – No.6. – P.1091–1100. doi: 10.1007/s12540-015-5276-y;
11. Aliieva L. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression / Aliieva L., Hrudkina N., Aliiev I., Zhbankov I., Markov O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2020. – Vol. 2/1 (104). – P.15–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>;
12. Hrudkina Natalia S. Modeling of cold extrusion processes using kinematic trapezoidal modules / Hrudkina Natalia S., Aliieva Leila I. // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48. – No. 2. – P. 357-363. doi:10.5937/fme2002357H;
13. Hrudkina N. Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. / Hrudkina N., Aliieva L., Abhari P., Markov O., Sukhovirska L. // Eastern-European Journal of
- novyih sposobov kombinirovannogo vyidavlivaniya [Technological possibilities of new methods of combined squeezing], *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo* [Forging and stamping production], No 2, pp. 7–10. [in Russian];
5. Bhaduri, A. (2018). Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. Springer Series in Materials Science. vol. 264, pp. 599-646. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13. [in English];
6. Perig, A. (2015). Two-parameter Rigid Block Approach to Upper Bound Analysis of Equal Channel Angular Extrusion through a Segal 2θ-die, Materials Research-Ibero-American Journal of Materials. Vol. 18, No. 3, pp. 628-638. doi: 10.1590/1516-1439.004215. [in English];
7. Kalyuzhnyi, V.L., Aliieva, L.I., Kartamyshev, D.A. and Savchinskii, I.G. (2017). Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts. Metallurgist. Vol. 61, No. 5-6, pp. 359-365. doi:10.1007/s11015-017-0501-1. [in English];
8. Jafarzadeh, H., Zadshakoyan, M., Abdi, Sobbouhi E. (2010). Numerical studies of some important design factors in radial–forward extrusion process. Materials and Manufacturing Processes. No. 25, pp. 857–863. [in English];
9. Seo, J.M. (2007). Forming Load Characteristics of Forward and Backward Tube Extrusion Process in Combined Operation, *Key Engineering Materials*, vol. 340-341, pp. 649-654. [in English];
10. Noh, J., Hwang, B.B., Le, H.Y. (2015). Influence of Punch Face Angle and Reduction on Flow Mode in Backward and Combined Radial Backward Extrusion Process. Metals and Materials International. vol. 21, № 6, pp. 1091–1100. doi: 10.1007/s12540-015-5276-y. [in English];
11. Aliieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zhbankov, I., Markov, O. (2020). Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 2/1 (104), P.15–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>. [in English];
12. Hrudkina, Natalia S., Aliieva, Leila I. (2020). Modeling of cold extrusion processes using kinematic trapezoidal modules. FME Transactions. vol. 48, No. 2, pp. 357-363. doi:10.5937/fme2002357H. [in English];
13. Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Markov, O., Sukhovirska, L. (2019). Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a

Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 2. – N 5/1 (101). – P. 49–57. <https://doi:10.15587/1729-4061.2019.179232>;

14. Патент №138662, МПК В21К 21/00 (2006). Спосіб комбінованого видавлювання порожнистих деталей / Алієва Л.І., Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Левченко В.М., Малій Х.В.; заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія – № u201904812; заяв. 06.05.2019; опуб. 10.12.2019, бюл. № 23.

flange. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. vol. 2, N 5/1 (101), pp. 49–57. <https://doi:10.15587/1729-4061.2019.179232>. [in English];

14. Aliieva L.I., Aliiev I.S., Hrudkina N.S., Levchenko V.M., Malii Kh.V. (2019). Sposib kombinovanoho vydavliuvannia porozhnistykh detalei [The method of combined extrusion of hollow parts]. Ukrainian patent, no. 138662.

HRUDKINA NATALIA

vm.grudkina@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0914-8875>

Donbass State Engineering Academy

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛИРОВАННЫХ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КИНЕМАТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ГРУДКИНА Н. С.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Цель. *Расширение возможностей метода кинематических модулей для определения величины приведенного давления деформирования и формообразования полуфабриката в процессах комбинированного радиально-прямого выдавливания полых деталей со сложным профилем. Получение расчетных зависимостей, которые позволят прогнозировать соблюдения необходимых размеров детали и оценить возможность дефектообразования.*

Методика. *Энергетическим методом на основе метода кинематических модулей проведено исследование основных факторов, влияющих на силовой режим деформирования и особенности формообразования полуфабриката в процессах комбинированного выдавливания с несколькими степенями свободы течения металла.*

Результаты. *На основе энергетического метода с использованием кинематического модуля с двумя степенями свободы течения металла получено приведенное давление деформирования расчетной схемы комбинированного радиально-прямого выдавливания полых деталей со сложным профилем. Получены зависимости приращений полуфабриката, которые дают возможность проанализировать влияние технологических факторов на процесс формообразования и возможного дефектообразования в виде утяжины.*

Научная новизна. *Подтверждены возможности энергетического метода с использованием кинематических модулей с несколькими степенями свободы течения металла для оценки силового режима и формообразования полуфабриката в процессах комбинированного выдавливания. Установлено существенное влияние условий трения и геометрических параметров процесса появления утяжины при комбинированном радиально-прямом выдавливании полых деталей со сложным профилем.*

Практическая значимость. *Получены математические зависимости для расчета приведенного давления деформирования и приращений полуфабриката в процессе комбинированного радиально-прямого выдавливания полых деталей со сложным профилем, что будет способствовать более активному внедрению процессов комбинированного выдавливания на производстве.*

Ключевые слова: *энергетический метод, комбинированное выдавливание, полые детали с фланцем.*

MODELING OF COMBINED RADIAL-FORWARD EXTRUSION OF HOLLOW PARTS WITH A COMPLEX PROFILE BY USING THE METHOD OF KINEMATIC MODULES

HRUDKINA N. S

Donbass State Engineering Academy

Purpose. Expanding the capabilities of the kinematic modules method to determine the value of the relative deformation pressure and shaping of a semi-finished product in the processes of combined radial-forward extrusion such as hollow parts with a complex profile. Obtaining calculated dependencies that will allow predicting compliance with the required dimensions of the part and assessing the possibility of defect formation.

Methodology. Upper bound method based on the method of kinematic modules is defined investigation of the main factors, affecting the power mode of deformation and features in the shaping of a semi-finished product in the processes of combined extrusion with several degrees of metal flow freedom

Results. Based on the upper bound method by using a kinematic module with two degrees of metal flow freedom is determined the value of the relative deformation pressure for make scheme of combined radial-forward extrusion such as hollow parts with a complex profile. The dependences of the increments in the semi-finished product that make it possible to analyze the influence of technological factors in the process of shaping and possible defect formation in the form of dimple are determined.

Scientific novelty. The possibilities of the upper bound method by using kinematic modules with several degrees of metal flow freedom to assess the power mode and shaping of a semi-finished product in the processes of combined extrusion are determined. Significant influence of friction conditions and geometric parameters of the process the appearance of dimple in combined radial-forward extrusion such as hollow parts with a complex profile are considered.

Practical significance. Mathematical relationships for calculating the value of the relative deformation pressure and increments of the semi-finished product in combined radial-forward extrusion such as hollow parts with a complex profile that will contribute to a more active introduction of combined extrusion processes in production are determined.

Key words: upper bound, combined extrusion, hollow parts with flange.