

Симулиране на процеси на обемно деформиране по метода на крайните елементи

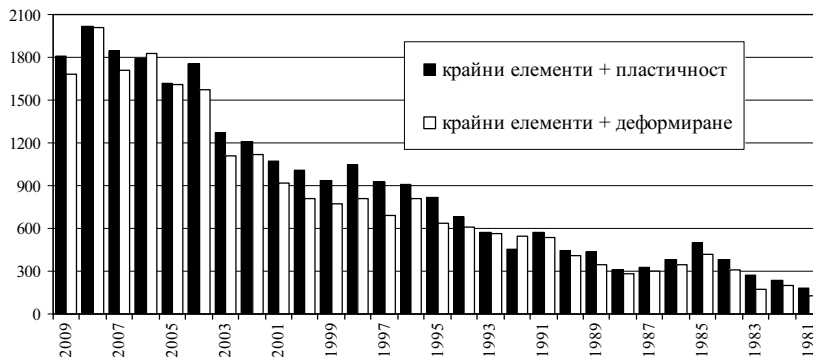
Валентин Гагов, Росен Радев, Борис Томов

Abstract: Simulation of bulk forming processes by finite element method. The finite element method is now widely applied to investigate various deformation processes in more details and to improve process planning and die design. This paper presents some more important own results obtained in past years with relation to several forging operations as typical examples of non-steady-state bulk forming. The numerical solutions are compared with data from analytical or physical modelling.

Key words: computer simulation, bulk forming, finite element method

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните 20-25 години рязко се увеличи използването на мощни изчислителни средства при изследване и проектиране на технологични процеси на пластично деформиране, в това число с помощта на комерсиални софтуерни продукти за персонални компютри. Като основен числен метод се наложи методът на крайните елементи, на който само в областта на пластичното деформиране са посветени редица монографии [7, 8, 9, 12, 14, 20], библиографии [11, 13] и хиляди други (фиг. 1) публикации. Достоверността на резултатите от този метод, обаче, все още изисква съпоставка с аналитични решения, лабораторни експерименти или производствени наблюдения.



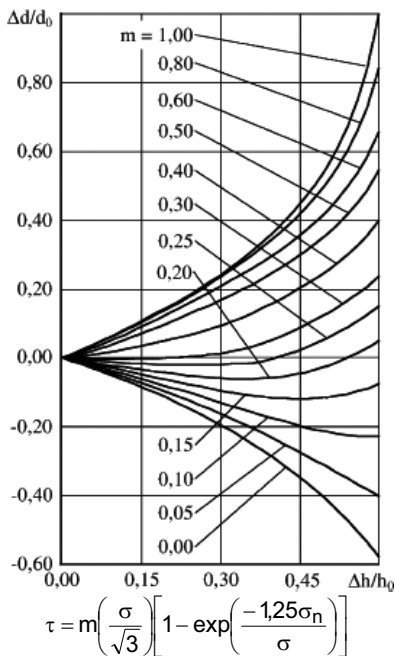
Фиг. 1. Брой публикации с метод на крайните елементи (по ISI Web of Knowledge)

Тук са представени някои от по-важните собствени резултати от дългогодишни компютърни симулации на процеси на коване и щамповане като характерни примери за нестационарно обемно деформиране. Използвани са достъпни специализирани програмни продукти (Form-2D, QForm, Simufact) за числена реализация на метода на крайните елементи. Получените решения са сравнявани с резултати от паралелно физическо или аналитично моделиране.

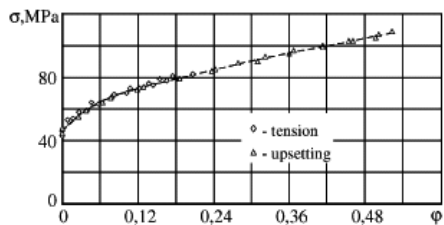
ИЗЛОЖЕНИЕ

Процесите на коване и щамповане се характеризират с това, че пластичното течение на метала има променлива интензивност и се осъществява едновременно в перпендикулярно и колинеарно направление спрямо деформиращата сила, като разпределението на скоростите на деформация и на натрупаните деформации е неравномерно (по обема на изковката) и нестационарно (в хода на деформирането).

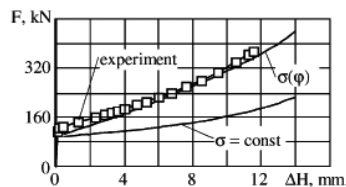
Влиянието на твърде голям брой фактори в такива случаи затруднява обобщеното аналитично или статистическо описание на формоизменението и силовите условия, което води до липсата на единна уточнена методика за рационално технологично проектиране. Затова все по-често в изследователската дейност и индустриалната практика се използва числено моделиране по метода на крайните елементи. Обаче все още не е категорично решен проблемът за количественото съответствие на числените резултати с действителните параметри на моделирания деформационен процес, което зависи от въвеждането на адекватни начални данни в използвания софтуер. Във връзка с това в [17] се предлага номограма (фиг. 2) за определяне на фактора на контактно триене m чрез сплескване на пръстеновидни проби и описание на уякчаването (фиг. 3) чрез комбинирано изпитване на опън и натиск.



Фиг. 2. Номограма за опитно определяне на фактора m



Фиг. 3. Крива на уякчаване на Al

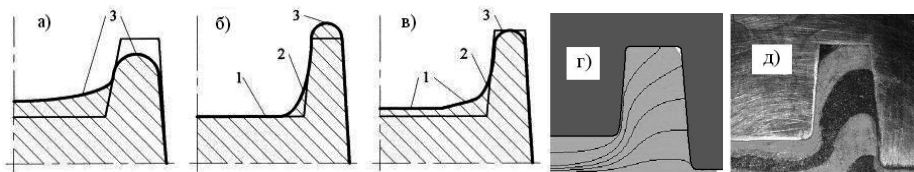
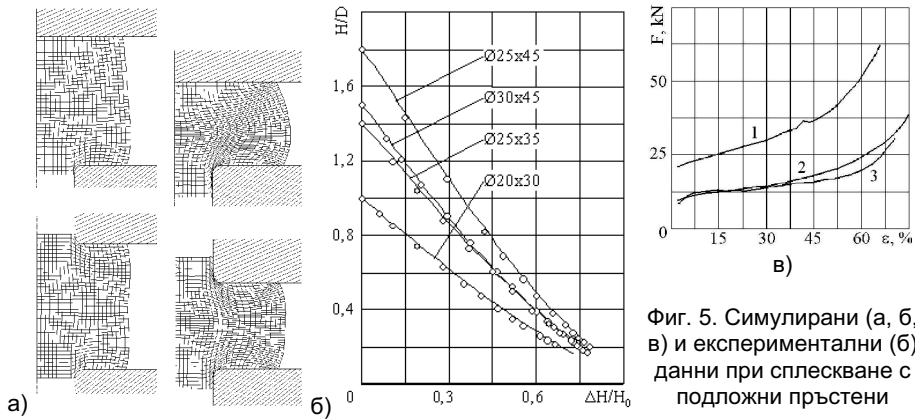


Фиг. 4. Гладко сплескване на Cu

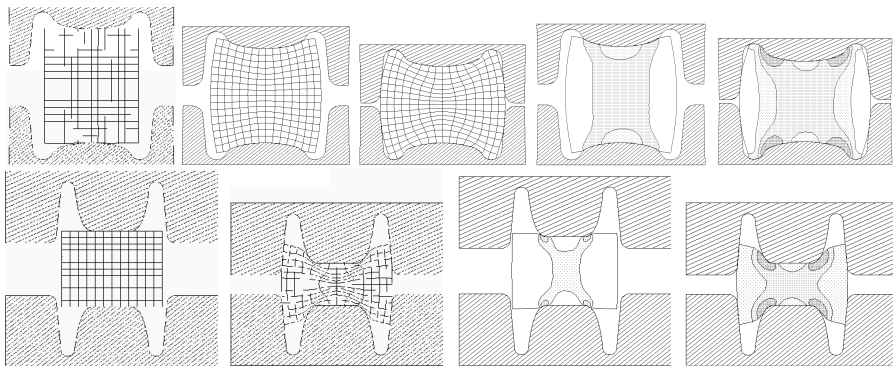
Съпоставката на резултатите [3, 17] от физическо и числено моделиране при гладко сплескване на цилиндрични проби в студено (фиг. 4) и горещо състояние установи много добро съвпадение на данните, но показва и систематични различия от аналитичните решения. По-подробният анализ [6, 7] на това несъответствие, въпреки че описанието на процеса изглежда елементарно, сочи сложно променливо разпределение на контактното налягане и изисква допълнителни изследвания.

Като често срещан процес (самостоятелна операция при свободно коване или подготвителен преход при шамповане) подробно е изследвано сплескване [1, 3, 10, 18] с подложни пръстени (фиг. 5). В този случай наличието на 2 степени на свобода на пластично течение на метала (аксиално и радиално) не позволява да се изведат достоверни аналитични решения в явен вид. Чрез съвместен статистически анализ на данни от физически и числени експерименти са получени регресионни уравнения

[10] за формоизменението и силовите условия при горещо деформиране, които могат да се използват за технологично проектиране в инженерната практика. При студено деформиране чрез физическо и числено моделиране [4] е установено, че неравномерното локално уякчаване допълнително затруднява пластичното течене в зоните с интензивна предшестваща деформация.



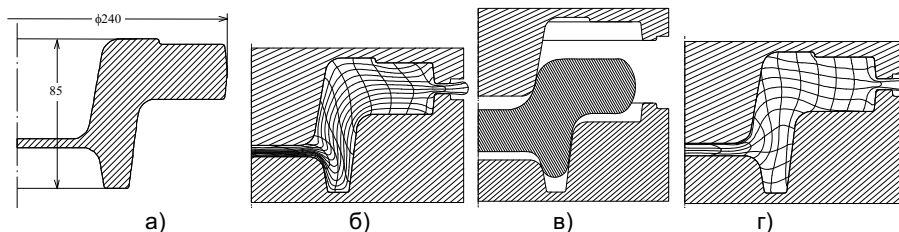
Фиг. 6. Предварителни преходи (а, б, в) на шамповане при симулирано (г) и физическо (д) моделно запълване



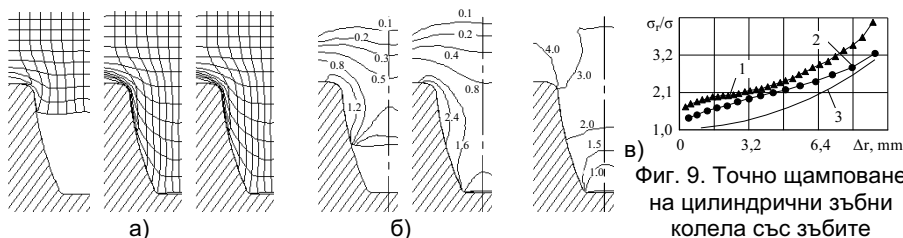
Фиг. 7. Симулирани лагранжеви мрежи и еквивалентни деформации при две различни форми на предварителния преход

Проектирането на рационални предварителни преходи за горещо шамповане е твърде важно за производството на качествени изковки при облекчени условия на деформиране [2, 15 16] в окончателния преход, затова такива преходи също са били обект (фиг. 6, 7 и 8) на съвместно аналитично, физическо и числено моделиране.

Аналитичното изследване на 3 предварителни прехода (фиг. 6 а-в) за изковки с Н-образно напречно сечение показа, че най-добри силови и деформационни условия за запълване на окончателната гравюра дава модифицираната форма по фиг. 6 в, която отчита „естественото“ течене на метала. Фиг. 6 г-д илюстрират съвпадението на данните от числено и физическо моделиране. Някои симулирани резултати за разпределението на деформациите са представени на фиг. 7 за две предварителни форми и на фиг. 8 за окончателен преход без (фиг. 8б) и след (фиг. 8г) оптимизиран предварителен преход. Установено е много добро съответствие между данните от физическо и числено моделиране [2, 10] на предварителни щампови преходи.

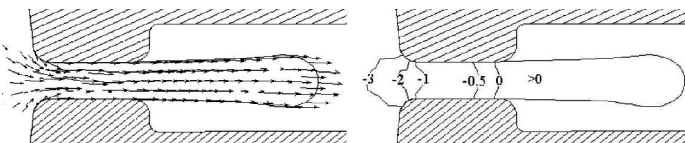


Фиг. 8. Изковка (а), предизковка (в) и симулиран (б, г) окончателен преход



Фиг. 9. Точно щамповане на цилиндрични зъбни колела със зъбите

Фиг. 10. Скорости на течение и средни напрежения в канала на чепака



Окончателните преходи са изследвани [5, 18, 19] основно при точно щамповане на зъбни колела и при оразмеряване на канала за чепака. На фиг. 9 са представени резултати от формиране на зъбите във вид на лагранжеви мрежи (а), еквивалентни деформации (б) и относителни напрежения (в) при удовлетворително съвпадение на данните от числено (1), аналитично (2) и физическо (3) моделиране. На фиг. 10 са показани симулирани скорости на пластично течение и разпределение на средните напрежения в чепака при затваряне на щампата за изковката от фиг. 8а и подбрана [19] оптимална форма на канала за чепака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният кратък преглед на собствени числени резултати от симулиране на нестационарни деформационни процеси на коване и щамповане и сравнението им с избрани данни от паралелно аналитично описание и физическо моделиране потвърждават и разширяват възможностите за използване на метода на крайните елементи като мощно средство за изследване и технологично проектиране.

ЛИТЕРАТУРА

- [13] Гагов В. Компютърно симулиране на нестационарни схеми за пластично деформиране. Научна сесия на ВВВУ, Долна Митрополия, 1997, 1, 318-323.
- [14] Гагов В., Р. Радев, Б. Томов, Е. Минева. Сравнителен анализ на предварителни преходи за горещо щамповане. Научни труд. на РУ, Русе, 1999, 37, 2, 74-80.
- [15] Гагов В., Р. Радев, Б. Томов. Симулиране на процеси на горещо щамповане по метода на крайните елементи. Научни труд. на ТУ, Габрово, 2001, 160-165.
- [16] Гагов В., Р. Радев. Влияние на уякчаването върху теченето на метала при нестационарно обемно деформиране. Научни труд. на РУ, Русе, 2002, 39, 7, 46-50.
- [17] Гагов В., Б. Томов, Р. Радев. Съвременни изследвания върху производството на зъбни колела чрез пластично деформиране. Машиностроене и машинознание, 2008, 4, 99-102.
- [18] Гагов В., Р. Радев, Е. Янков, Д. Господинов. Моделиране на процеса аксиално сплескване на цилиндрични заготовки. Машиностроене и машинознание, 2010, 11, 68-71.
- [19] Рыбин Ю. И., А. И. Рудской, А. М. Золотов. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. Наука, Санкт-Петербург, 2004.
- [20] Dixit P. M., U. S. Dixit. Modeling of metal forming and machining processes by finite element and soft computing methods. Springer-Verlag, London, 2008.
- [21] Dunne F., N. Petrinic. Introduction to computational plasticity. Oxford University Press, Oxford, 2005.
- [22] Gagov V., B. Tomov. Finite element simulation of die forging processes. Proc. of 6th AMME Conf., Gliwice/Wisla, Poland, 1997, 75-78.
- [23] Hartley P., I. Pillinger. Numerical simulation of the forging process. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 195, 48/49, 2006, 6676-6690.
- [24] Kobayashi S., S.-I. Oh, T. Altan. Metal forming and the finite-element method. Oxford University Press, Oxford, 1989.
- [25] Mackerle J. Finite element modelling and simulation of bulk material forming. Engineering Computations, vol. 23, 3, 2006, 250-342.
- [26] Neto E. de S., D. Peric, D. Owens. Computational methods for plasticity: theory and applications. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2008.
- [27] Radev R., B. Tomov. Preform design in hot die forging. Proc. of 11th AMME Conf., Gliwice, 2002, 451-454.
- [28] Tomov B., R. Radev, V. Gagov. About the preforming steps design for die forging using FEM simulation. J. of Technology for Plasticity, 1999, 24, 79-84.
- [29] Tomov B., R. Minev, R. Radev, V. Gagov. About the input data selection at FEM analysis of bulk forming. J. of Materials Processing Technology, 2003, 133, 199-202.
- [30] Tomov B., V. Gagov, R. Radev. Numerical simulation of hot die forging processes using finite element method. J. of Materials Processing Technology, 2004, 153, 352-358.
- [31] Tomov B., R. Radev, V. Gagov. Influence of flash design on process parameters of hot die forging. J. of Materials Processing Technology, 2004, 157, 620-623.
- [32] Wagoner R. H., J.-L. Chenot. Metal forming analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

За контакти:

доц. д-р Валентин Иванов Гагов, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет "Ангел Кънчев", e-mail: gagov@uni-ruse.bg
доц. д-р Росен Христов Радев, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет "Ангел Кънчев", e-mail: rradev@uni-ruse.bg
проф. д-тн Борис Иванов Томов, катедра Материалознание и технология на материалите, Русенски университет "Ангел Кънчев", e-mail: btomov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.