

Рис. 3.

На рисунке 3 показаны графические зависимости изменения величины крутящего момента от угла поворота К.В.: ряд3 - при повороте одного К.В. на угол $\alpha = 30^\circ$; ряд1 - $\alpha = 0^\circ$; ряд2 - для типового двигателя с однорядным расположением цилиндров $\alpha = 0^\circ$.

Вывод

Таким образом, при сдвиге момент зажигания на угол $\alpha = 25-30^\circ$ крутящий момент на коленчатом вале увеличивается на 30-34% по сравнению с типовым двигателем.

УДК 539.4.014.3+532.5

Пивник Я., Скорульский Г.

РАСЧЕТЫ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Введение

Использование компьютерных программ для расчета, в том числе специализированных, доступных для потребителя, позволяет без труда выбрать ту, с помощью которой можно вычислить необходимые конкретные величины. Так, для численного моделирования процессов выдавливания часто используют программу FORM 2D. Кроме неоспоримых преимуществ, к которым относятся простота обслуживания и возможность ее использования во многих процессах пластической обработки, ее сложно использовать для анализа несимметричных процессов, хотя такие попытки были уже предприняты в работе [1]. Другой программой, используемой для анализа процессов выдавливания, является Forge@2D, которую мы использовали для оптимизации процессов комбинированного выдавливания [2]. Для моделирования различных аспектов процесса выдавливания, например, проведение трехмерного анализа пластического течения [3], проектирования матриц для выдавливания прямоугольных профилей [4], либо анализа влияния упругих деформаций матрицы на точность размеров изготавливаемого изделия [5], можно использовать программу DEFORMTM3D и MSC/Superforge. Сле-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей/ Изд. 4. Под ред. Орлина А. С., М., «Машиностроение». – 1984.
2. Авторское свидетельство СССР № 1687825, кл. F 02 В 43/04, 1991.
3. Патент Республики Польша № 185300, кл. F 02 В 75/32, 2003.

дует заметить, что большинство программ, базирующихся на методе конечных элементов, используется для численного анализа процессов пластической обработки. Анализ результатов этой методики (алгоритма) в данном случае не составляет большого труда, однако получение удовлетворительных результатов представляет длительный процесс. В то же время все меньше места отводится экспериментальной механике. Анализируя состояние данной проблемы, очевидной является тенденция целесообразности совместного использования результатов численного анализа и экспериментальных исследований и во многих случаях это единственный путь достоверности полученных результатов в для таких процессов.

Выбор типа анализа.

Исследование процессов выдавливания проводились численно с помощью программы ANSYS 5.7, основанной на методе конечных элементов. Одним из ее модулей является пакет программ CFD FLOTRAN, используемый для анализа течений материалов [6]. CFD FLOTRAN (Computational Fluid Dynamics) предлагает всесторонние возможности для анализа двух и трехмерных полей жидкого потока. Пользу-

Пивник Ян, д.т.н., профессор, зав. каф. эксплуатации и технологии машин Белостокской Политехники, РП.
Скорульский Г., доцент каф. эксплуатации и технологии машин Белостокской Политехники, РП.

ясь какими либо одним из элементов CFD Flotran FLUID141 (плоские задачи) и FLUID142 (пространственные задачи) можно получить результаты и решения следующих проблем: исследовать ламинарное и турбулентное течения и выполнить их тепловой анализ, исследовать ньютоновское течение, осуществить анализ многократного перемещения потока, а также анализ его свободной поверхности.

Элементы FLUID141 и FLUID142 дают решение для двух и трехмерных потоков, давления и распределения температур в стационарной фазе вязкого потока. Для этих элементов программа ANSYS вычисляет суммарные скорости, давление и температуру в зависимости от массы, перемещения и энергии.

Реализация задач с помощью пакета FLOTTRAN складывается из семи главных шагов: определение области проблемы; определение специфики потока, создание сетки элементов, постановка краевых условий, выявление необходимых параметров анализа, решение проблемы, представление результатов. В соответствии со спецификой метода сетку элементов необходимо приспосабливать в местах изменения сечения при течении потока. В некоторых случаях можно использовать шестигранные элементы, чтобы решение в местах изменения сечения канала было наиболее точное, а в менее критических случаях можно применить четырехгранные элементы. Кроме того, имеется возможность выбора опций, с помощью которых система сама автоматически создает элементы.

Краевые условия при анализе пластического течения удобнее задавать в форме начальных скоростей. Большое значение здесь имеет распределение скоростей на поршне (штампе) и боковых стенках камеры (сосуда). Процесс выдавливания трактуется как сжатие. Полностью его можно рассматривать как адиабатический процесс, при чем задание краевых условий в виде температуры выдавливаемого материала, позволяет получить наиболее точные результаты для процессов выдавливания при повышенных температурах. Мониторинг сходимости решения и стабильности анализа процесса подтверждается посредством ограничения скорости сходимости решения и сохранения изменений для связанных зависимых переменных. Эти переменные содержат скорость, давление, температуру и если необходимо, степень турбулентности, интенсивность диссипации кинетической энергии и необходимую вязкость (EVIS).

В процессе моделирования FLOTTRAN программа ANSYS вычисляет степень сходимости на каждом шаге итерации. Критерии для анализа сходимости являются вычисленные значения компонент скорости V_x, V_y, V_z , давление (PRES), температура (TEMP), кинетической энергии (ENKE), интенсивности диссипации кинетической энергии (ENDS) и каждое активное уравнение движения (SPO1-SPO6).

Критерием сходимости является стандартная мера скоро-

сти изменения решения от итерации до итерации. В зависимости от общего изменения поля Φ , критерий сходимости DOF определяется как

$$ConvMon = \frac{\sum_{i=1}^N |\phi_i^k - \phi_i^{k-1}|}{\sum_{i=1}^N |\phi_i^k|},$$

т.е. критерий сходимости представляет сумму изменений переменной вычисленной в результате выполнения итераций k (текущей) и $k-1$ (предыдущей), поделенную на сумму текущих значений величин. Суммирование осуществляется во всех узловых точках n , используя свойства конечных разностей.

Численный анализ

Основными входными параметрами для анализа являлись: краевые условия в виде заданных на стенках камеры скоростей; скорость штампа V_0 ; плотность ρ и кинематическая вязкость η моделирующего материала; краевые условия для давления на выходе из матрицы; предположение относительно влияния температуры; вид течения (ламинарный) – определяется заданной скоростью штампа v .

Эксперименты проводили на плоских моделях. Сечения вдоль матрицы проводились по оси симметрии ее отверстия. Плотность в этом случае составила $1299,2 \text{ кг/м}^3$. Среднее значение кинематической вязкости вычислялось по формуле

$$\eta_0 = \frac{1}{3} \frac{\sigma_{i0}}{\dot{\epsilon}_{i0}}. \tag{1}$$

Значение вычисленной таким образом кинематической вязкости составило:

$$\eta_0 = 4236,8 \text{ Н/м}^2.$$

Зависимость между напряжениями и деформациями для моделирующего материала определялась соотношением

$$\sigma_{i0} = C \cdot \dot{\epsilon}_{i0}^m, \tag{2}$$

где C – постоянная зависимость от вида материала, для пластилина $C = 120$; m – показатель кривой упрочнения (для пластилина $m = 0,09$).

Интенсивность скорости деформаций вычисляли по формуле

$$\dot{\epsilon}_{i0} = \frac{v_0}{H}, \tag{3}$$

где v_0 – скорость штампа (м/с), H – высота образца (м).

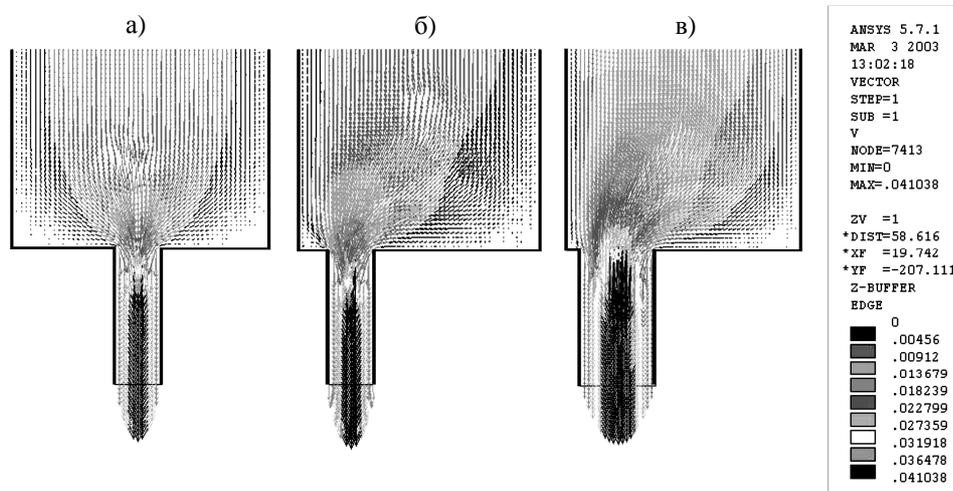


Рис. 1. Векторное распределение скорости для трех случаев процесса выдавливания: а) симметричный; б) несимметричный с большой редукцией ($\lambda = 5,5$); в) несимметричный с малой редукцией ($\lambda = 3,05$).

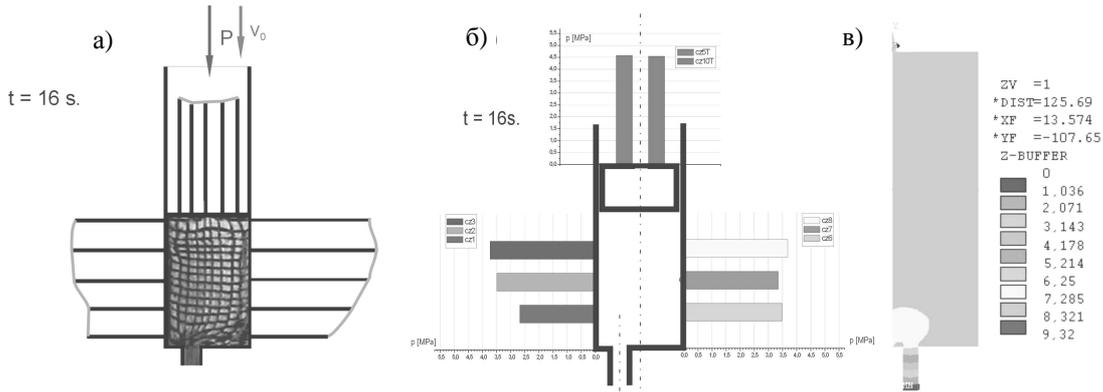


Рис. 2. Пример сравнения результатов для стационарной фазы несимметричного выдавливания; а) методика открытых датчиков; б) методика пьезоэлектрических преобразователей; в) методика численного решения (ANSYS).

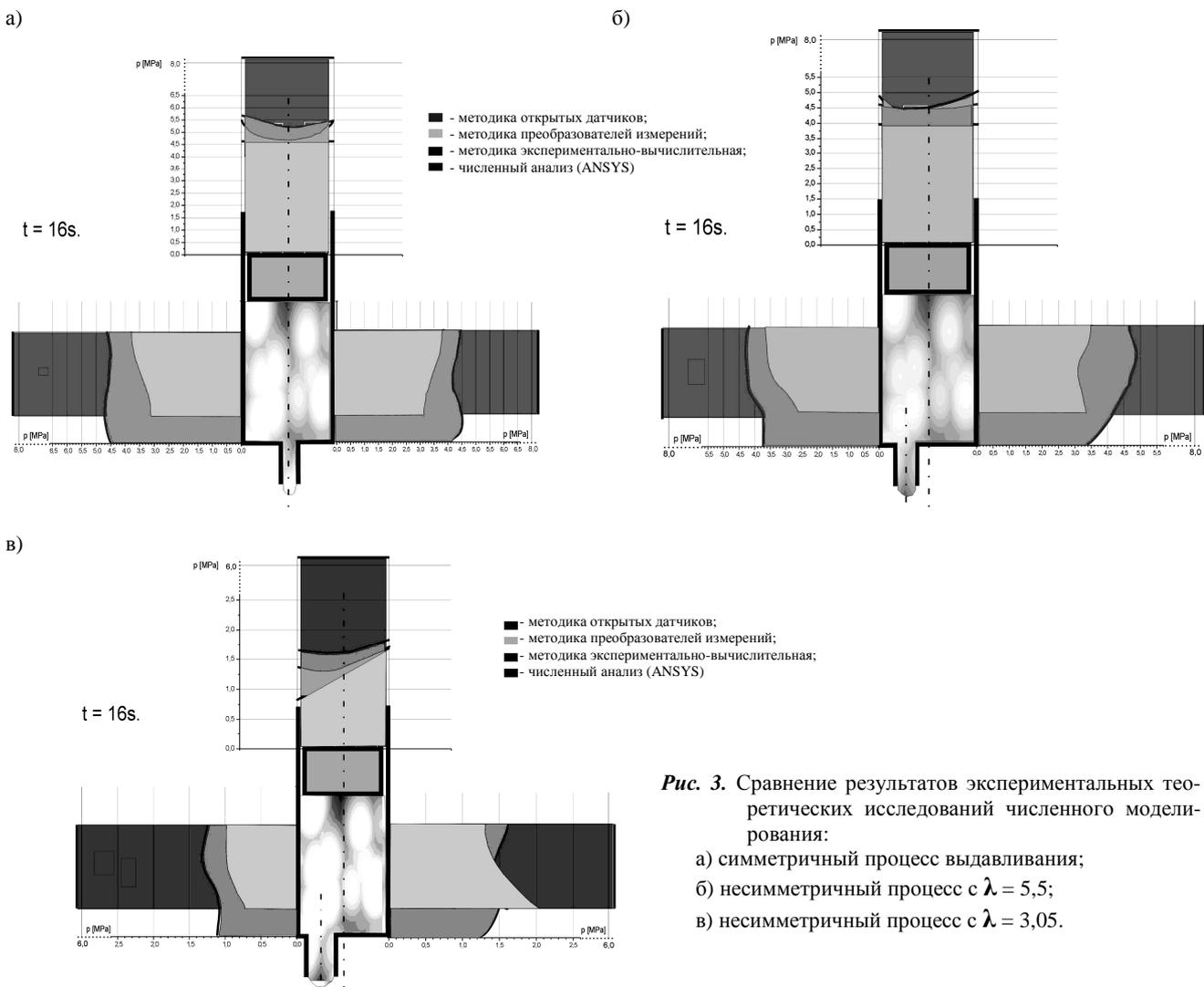


Рис. 3. Сравнение результатов экспериментальных теоретических исследований численного моделирования:
 а) симметричный процесс выдавливания;
 б) несимметричный процесс с $\lambda = 5,5$;
 в) несимметричный процесс с $\lambda = 3,05$.

Крайевые условия принимались для скорости вблизи стенок объекта, и ее начальное значение принималось равным нулю. Это соответствует выдавливанию сплавов алюминия в горячем состоянии и подтверждается экспериментальными исследованиями с использованием подлинных материалов.

Результаты численного анализа

Получено векторное распределение скоростей для трех случаев процесса выдавливания: симметричного, несиммет-

ричного с сильным и малой редукцией (рис. 1). Результаты численного анализа в этой среде согласуются с результатами, полученными экспериментальным путем (собственные исследования авторов), а также с данными известными из литературы [7, 8, 9, 10].

Для сравнения и проверки результатов численного анализа применены способы стержневых датчиков и пьезоэлектрических преобразователей измерений. Результатами, полученными с помощью программы ANSYS, кроме векторных распределе-

векторных распределений скорости, является также гидростатическое давление внутри сосуда. Для установленной фазы выдавливания с редукцией $\lambda = 0,55$ выполнено сравнение результатов (рис. 2).

Следует отметить основное отличие: в процессе несимметричного выдавливания предлагаемый метод моделирования позволяет определить распределение давлений. Однако результаты, полученные с помощью этих методик, следует трактовать несколько иначе. С помощью стержневых датчиков можно определить нормальное давление к поверхности, преобразователи измерений определяют составляющие давления в нормальном направлении, а результаты программы ANSYS дают распределение и возрастание гидростатического давления. В каждом из этих трех случаев нет возможности судить о составляющих давления. Следовательно, в конечном итоге результаты уже в начале процесса должны отличаться. Для избежания ошибок интерпретации следует также уточнить, что конкретно измеряется. Сравнительный анализ отчетливо показал разницу между полученным распределением давления на поршне и стенках сосуда и результатами численного анализа (рис. 3).

Выводы

На величину максимального гидростатического давления имеет единственное влияние (при одинаковых краевых условиях) значение степени редукции λ . Можно заметить (рис. 3), что процессы симметричного и несимметричного выдавливания при одинаковой степени редукции имеют небольшую разницу. При этом пульсация давления, в том числе его падение в области выхода материала из отверстия матрицы, определяются более интенсивно в случае несимметричного выдавливания (рис. 2в). Проведенные исследования показали, что сильное влияние на полученные результаты имеет подбор определенных зависимостей, т.е. физических уравнений, заложенных в математической модели. Установленные погрешности результатов численных исследований в отношении к результатам полученными другими методами (на уровне 50%), говорят о необходимости более глубокого анализа экспериментального процесса. Особое внимание следует обратить на изменение вязких свойств материала, а также на необходимость точного определения свойств материала.

УДК 620.178.16:620.178.3

Богданович А.В.

ГИПОТЕЗА СУММИРОВАНИЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Развитие методов износоусталостных испытаний силовых систем машин и оборудования, анализ результатов таких испытаний, проектирование силовых систем и прогнозирование их надежности требует разработки соответствующих моделей накопления износоусталостных повреждений (ИУП). В данной статье рассматривается одна из таких моделей, дается ее численный анализ.

Для расчетной оценки долговечности в условиях нерегулярного нагружения примем временную функцию поврежденности силовой системы в виде [1]:

$$\omega_{\Sigma} = \left[1 - \left(1 - \frac{n}{N} \right)^{\alpha} \right]^{\beta}, \quad (1)$$

где $\alpha \geq 1$ и $\beta \geq 1$ – параметры разупрочнения и упрочнения соответственно; n – текущее число циклов (наработка); N – число циклов до наступления предельного состояния.

Принятие соответствующих вязко-пластической модели тела и разрешающих уравнений для вычислений предопределяет получение результатов численным путем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ziółkiewicz S., Woźniak H.: Próba zastosowania programu FORM-2D do symulacji procesu wyciskania na zimno odkuwki częściowo niesymetrycznej, Obróbka Plastyczna Metali, nr 1, 1998, s. 39-45.
2. Dewiatow W., Michalczyk J.: Analiza parametrów wyciskania kombinowanego na podstawie symulacji komputerowej przeprowadzonej za pomocą programu Forge@2D i Compromis, Materiały Konferencji Naukowej: Teoria i Inżynieria Procesów Metalurgicznych, Kraków, 2003.
3. Mehta Bhavin V., Al-Zkeri I., Gunasekera J. S., Buijk A.: 3D flow analysis inside shear and streamlined extrusion dies for feeder plate design, Journal of Materials Processing Technology, 113, 2001, pp. 93 – 97.
4. Narayanasamy R., Srinivasan P., Venkatesan R.: Computer aided design and manufacture of streamlined extrusion dies, Journal of Materials Processing Technology, 138, 2003, pp. 262 – 264.
5. Qin Y., Balendra R.: FE Simulation of the Influence of Die Elasticity on component dimensions in forward extrusion, Int. J. Mech. Tools Manufact., Vol. 37, No 2, 1997, pp. 183 – 192.
6. ANSYS USER'S GUIDE, SAS IP, Inc., 2002.
7. Bandar A. R., Lorcharoensery K., Misiolek Z.: Three – dimensional material flow analysis of asymmetric hollow extrusion, Journal of Materials Processing Technology, 80 – 81, 1998, pp. 657 – 664.
8. Chitkara N. R., Aleem A.: Extrusion of axi - symmetric tubes from hollow and solid circular billets: a generalised slab method of analysis and some experiments, International Journal of Mechanical Sciences, 43, 2001, pp. 1661 – 1684.
9. Wang G. C., Zhao G. Q., Huang X. H., Jia Y. X.: Analysis and design of a new manufacturing process for a support shaft using the finite element method, Journal of Materials Processing Technology, 121, 2002, pp. 259 – 264.
10. Yang D. Y., Han C.H., Kim M.U.: A generalized method for analysis of three-dimensional extrusion of arbitrarily-shaped sections. Int J. Mech. Sci., 1986, t 28, nr 8, s. 517.

Можно выделить, по крайней мере, два важных достоинства функции (1). Во-первых, ее аргументом является относительная наработка n/N , которая, как известно, имеет энергетическое содержание, так как долговечность N связана с критической энергией, ответственной за разрушение объекта, а наработка n – с текущей энергией деформации. Во-вторых, функция (1) согласуется с фактически общепризнанным (и основанном на многочисленных опытных данных) мнением исследователей о нелинейном характере накопления повреждений во времени при усталости и изнашивании [1 – 9 и др.], а также при износоусталостных повреждениях [10 – 13]. При этом (1) позволяет моделировать влияние на накопление повреждений различных по природе процессов упрочнения-разупрочнения, связанных с классом материала (циклически упрочняющиеся, разупрочняющиеся или стабильные), характером нерегулярного нагружения, со свойствами коррозионной среды и др. [1, 9, 14, 15].