

*А. В. СТЕПУК*, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;  
*С. В. БОНДАРЬ*, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;  
*Л. В. АВТОНОМОВА*, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;  
*С. Ю. ПОГОРЕЛОВ*, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

## **ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНОЙ МАТРИЦЫ**

У роботі виконувався скінченно-елементний розрахунок напружено-деформованого стану складеної матриці з врахуванням пластичної деформації матеріалу заготовки. Чисельне моделювання процесу й механічний аналіз виконувалися на пакеті ANSYS. Розглянуті особливості деформації робочої вставки складеної бандажованої матриці.

**Ключові слова:** механічний аналіз, пластичні деформації, кінцевий елемент, контактні напруження, бандажована матриця, робоча вставка.

В работе выполнялся конечно-элементный расчет напряженно-деформированного состояния составной матрицы с учетом пластического деформирования материала заготовки. Численное моделирование процесса и механический анализ выполнялись на пакете ANSYS. Рассмотрены особенности деформирования рабочей вставки составной бандажированной матрицы.

**Ключевые слова:** механический анализ, пластические деформации, конечный элемент, контактные напряжения, бандажированная матрица, рабочая вставка.

The research carried out finite element calculation of stress-strain state of a compound matrix when a work-piece material is plastically deformed. Numerical modeling and mechanical analysis performed with CAD-FEM software ANSYS. The features of the deformation of the working insert within shrouded composite matrix are presented.

**Keywords:** mechanical analysis, plastic deformation, finite element contact stresses, matrix bandage, mechanical insert

**Описание проблемы.** Разработка нового изделия выдавливанием непосредственно связана с информацией о поведении технологической системы матрица – обрабатываемый материал. На стадии проектирования с помощью математического моделирования можно провести анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) и заготовки, и элемента оснастки – составной матрицы, которая является дорогостоящим инструментом, что позволит оптимально подобрать натяги бандажа. Основная нагрузка на матрицу – это давление, которое передается со стороны заготовки. Учет пластических деформаций в заготовке позволяет получить более точные законы распределения давлений на рабочих поверхностях составных элементов матрицы (на пример, на поверхности рабочей вставки).

**Постановка задачи.** Для холодного выдавливания технологическая система матрицы с заготовкой представляет собой совокупность взаимодействующих

соосных тел вращения, контактирующих между собой по совмещенным поверхностям. На рис. 1 показаны основные элементы матрицы (рабочая вставка, промежуточная вставка, бандаж и обойма). При прочностном анализе составной матрицы следует учитывать следующие факторы: контактное взаимодействие всех сегментов, которое осуществляется с кулоновским трением или с проскальзыванием; первоначальное деформированное состояние между вставкой и бандажом, в виде предварительного натяга, который также влияет на НДС. При расчете НДС матрицы, с учетом пластического деформирования заготовки, внешнее усилие прикладывается непосредственно к заготовке, а действующие на обойму (внешний элемент матрицы) силы стяжки матрицедержателя создают предварительное напряженное состояние.

Нагрузки, действующие на рабочую поверхность матрицы со стороны заготовки в процессе ее глубокого пластического деформирования, определяются из расчета НДС, как в пластически деформируемой заготовке, так и в инструменте с учетом их взаимного влияния друг на друга. Так как особенности конфигурации рабочей поверхности могут приводить к резкому изменению распределений контактных давлений в локальных областях концентраторов, то для выяснения законов распределения реальных контактных напряжений на рабочей поверхности, учитывается контактное взаимодействие элементов и в составной матрице.

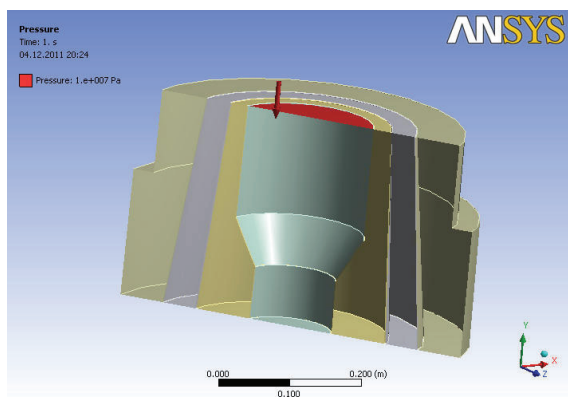


Рисунок 1 – Конструкция составной бандажированной матрицы

Для прочностного анализа расчет проводился в малых приращениях нагрузки от минимального значения приложенного давления до максимального, вызывающего стадию глубокого пластического деформирования материала, когда в заготовке возникают пластические деформации и большие перемещения. Данная задача является физически и геометрически нелинейной. Пластическое деформирование описывается моделями вязкопластичности. В частности, используется зависимость интенсивности напряжений  $\sigma$  от скоро-

сти деформирования [1].

$$\sigma = \sigma_0 [1 + (\varepsilon/\gamma)^m],$$

где интенсивность напряжений  $\sigma$  определяется функцией структурных свойств материала  $\Phi$  (размер зерен, кристаллическая решетка и проч.).

$$\Phi = [(\sigma/\sigma_0) - 1]^{1/m},$$

где параметр  $m$  – степень структурной зависимости свойств материала.

Однако возникновение конечных пластических деформаций в зонах на рабочей поверхности матрицы не должно приводить к недопустимому искажению геометрии изделия и к разрушению внутренней вставки матрицы.

**Результаты численного моделирования.** Данная контактная упруго-пластическая краевая задача с учетом трения численно была решена с помощью МКЭ. Распределение контактных напряжений позволяет отследить опасные зоны на рабочей поверхности матрицы с учетом предварительного напряженного состояния, которое компенсирует напряжения, возникающие под действием радиального давления деформируемой заготовки на стенки рабочей вставки. На рис. 2 приведены графики распределения компонент напряжений вдоль внутренней рабочей вставки при различных вариантах расчетной схемы: деформирования заготовки в упругой области; деформирование заготовки в упруго-пластической области. Анализ полученных результатов показывает, что в зоне А наблюдается локальное влияние концентратора (выступ с резким изломом – острая точка), приводящее в совокупности с ограничениями контактного взаимодействия к более заметному возрастанию значений компонент тензора напряжений [2].

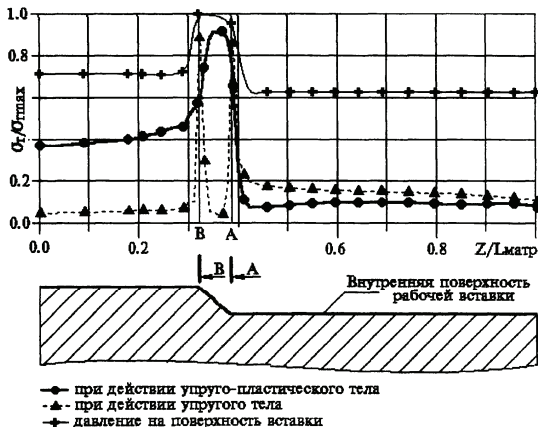


Рисунок 2 – Распределение радиальных напряжений вдоль поверхности рабочей вставки матрицы

Проведенные расчеты показали, что в значительно большей степени на прочность всей матрицы оказывает влияние напряженно-деформированное

состояние рабочей вставки сложной геометрии (переходы сечения, калибрующие пояски и т.д.). На рис. 3 представлено распределение интенсивности напряжений в составных частях матрицы. Концентрация напряжений на рабочих поверхностях является одним из основных факторов, определяющих прочность матрицы в целом.

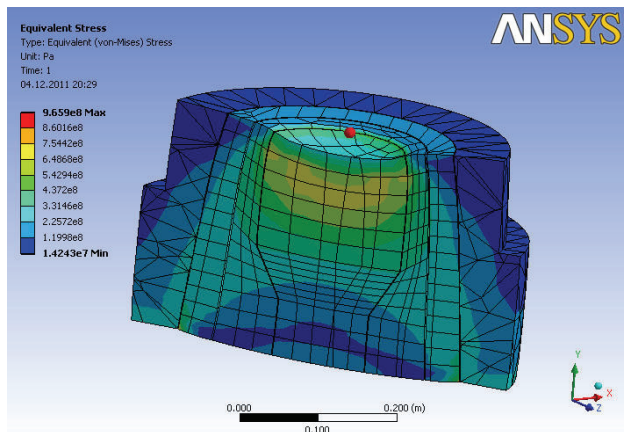


Рисунок 3 – Распределение интенсивностей напряжений технологической системы заготовка-составная матрица

Проведенный численный анализ НДС бандажированной матрицы с учетом пластического деформирования заготовки позволяет подобрать рациональный натяг между бандажом и рабочей вставкой, что дает снижение величины интенсивности напряжения на внутренней поверхности вставки на 15-20 %. Варьирование жесткостью вставки приводит к тому, что при увеличении величины натяга происходит уменьшение интенсивности напряжений в опасных зонах внутренней поверхности рабочей вставки. Влияние натяга существенно зависит от величины жесткости вставки, которая непосредственно зависит от толщины ее стенки. Таким образом, предпочтительней использовать конструкции матриц, имеющих равномерную жесткость по высоте матрицы. Для создания и обеспечения наиболее сбалансированных эксплуатационных условий бандажирования необходимо сделать рабочую вставку разрезной, что позволит изменить непосредственно величину натяга по высоте матрицы.

**Список литературы:** 1. Rankin C. C., Brogan F. A. An Element Independent Corotational Procedure for the Treatment of Large Rotations // Journal of Pressure Vessel Technology. – 1986. – Vol. 108. – P. 165-174. 2. Бондарь С.В. Разработка методов расчета и исследования напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки для холодного и полугорячего выдавливания: Автореф. дисс. на соиск. уч. степ., канд. техн. наук ХГПУ. – X.: 1998. – 22 с. 3. Chung J., Hulbert G. M. A Time Integration Algorithm for Structural Dynamics with Improved Numerical Dissipation: The Generalized- $\alpha$  Method // Journal of Applied Mechanics. – 1993. – Vol. 60. – P. 371.

Поступила в редколлегию 27.09.2012.