

С.В.БОНДАРЬ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ НА ПРИМЕРЕ МАТРИЦ ДЛЯ ВЫДАВЛИВАНИЯ

У статті розглядається задача міцності щодо складеної бандажованої матриці для видавлювання. Об'єктом дослідження є конічна матриця із впиранням на фундамент. Проаналізований вплив різних режимів нагріву на напружений стан матриці.

The firmness analyzing problem of the composite bandaging die for stamping of materials are considered in this work. The conical die with support on fundament is the investigation object. The influence of different components of die heating on the die stress state was analyzed.

Актуальность и состояние проблемы. При анализе прочности и жесткости различных конструкций одним из центральных вопросов является обоснованный выбор расчетных схем. Современный уровень развития вычислительной техники обуславливает широкое применение различных численных методов анализа напряженно-деформированного состояния. Использование численных методов подразумевает как можно более полный учет реальных геометрических параметров конструкции, условий закрепления и нагружения.

Так, при расчете составных матриц для выдавливания центральными вопросами являются: учет контактного взаимодействия между составными частями матрицы и между матрицей и деформируемой заготовкой, учет упруго-пластического деформирования заготовки, учет неравномерно распределенного температурного поля. При пластическом деформировании заготовки происходит выделение тепла [1]. Следствием этого является то, что детальный анализ напряженного состояния различных видов матриц штампов приводит к необходимости предварительного решения задачи теплопроводности. Поэтому определенный интерес представляет выяснение влияния на напряженное состояние дополнительного теплового воздействия, связанного с пластическим деформированием заготовки.

Постановка задачи и метод решения. Для оценки степени влияния дополнительного тепловыделения на напряженное состояние матрицы в данной работе рассматривается термоупругое деформирование составной бандажированной матрицы, одна из возможных расчетных моделей которой приведена на рис. 1. Эта расчетная модель получена путем упрощения схем составных бандажированных матриц, приведенных в работе [2]. На рис. 1 приведены геометрические параметры и параметры температурного нагружения. Следует отметить, что расчетная схема, содержит основные конструктивные

элементы, встречающиеся в конструкциях составных бандажированных матриц: рабочую вставку – 1 (материал сталь Х12М, $E = 2,2 \cdot 10^5$ МПа; $\alpha = 11,2 \cdot 10^{-6}$; $\nu = 0,3$ [3]) и бандажи – 2,3 (материал сталь 35ХГСА, $E = 1,98 \cdot 10^5$ МПа; $\alpha = 12,2 \cdot 10^{-6}$; $\nu = 0,1$ [3]).

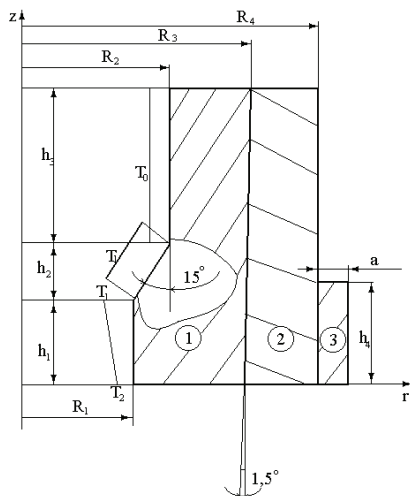


Рисунок 1 – Расчетная схема составной матрицы

Специфика силового и теплового нагружений позволяют рассматривать эту расчетную схему в рамках осесимметричной задачи. При решении задачи теплопроводности примем следующие допущения. Матрицу будем рассматривать отдельно от заготовки. Ее влияние на поле температур в матрице можно представить температурой заготовки, которая неравномерно распределяется по участкам внутренней поверхности рабочей вставки. На верхнем цилиндрическом участке полагаем, что температура постоянна и совпадает с температурой окружающей среды T_0 . В пределах конического участка поверхности происходит значительный нагрев заготовки, связанный с тем, что в этой зоне находится очаг деформации. На этом участке температура задается также постоянным значением T_1 . И, наконец, на нижнем цилиндрическом участке рабочей вставки примем линейный закон распределения температуры от температуры нагрева T_1 до значения $T_2 = T_1/2$. Температуру нагрева в очаге деформации можно найти при помощи связи выделяющейся тепловой энергией A_T и работой пластической деформации $A_{пл}$, которая устанавливается через коэффициент выхода тепла η_T . На основании экспериментальных данных установлено [1], что для конструкционных сталей $\eta_T = 0,75...0,85$. В результате оказывается, что заготовка нагревается в диапазоне $100^\circ \div 200^\circ\text{C}$.

Задача нахождения установившегося температурного поля в нагретой конструкции в рамках осесимметричной задачи эквивалентна проблеме ми-

нимизации функционала следующего вида:

$$I = \iint_S \left\{ \frac{K}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] \right\} rdS + \int_{L_3} \frac{\alpha}{2} [T^2(r, z) - 2T_\infty T(r, z)] rdL. \quad (1)$$

Вторая часть функционала в соотношении (1) учитывает конвективный теплообмен с внешней средой на наружных поверхностях матрицы. где α – коэффициент конвективного теплообмена, T_∞ – температура внешней среды, K – коэффициент теплопроводности материала. В качестве расчетных приемов следующие значения указанных параметров: $\alpha = 50$ Вт/м; $T_\infty = 25$ °С; $K = 50$ Вт/м². Термоупругая задача решалась без учета механических поверхностных и объемных нагрузок. В этом случае задача сводилась к минимизации функционала:

$$\Pi = \pi \iiint_S [\sigma_r(\varepsilon_r - \alpha T) + \sigma_z(\varepsilon_z - \alpha T) + \sigma_\varphi(\varepsilon_\varphi - \alpha T) + \tau_{rz}\gamma_{rz}] r dr dz, \quad (2)$$

Оценки прочности керамического контейнера. При численном анализе применялся метод конечных элементов. Конструкция разбивалась на четырехузловые косоугольные изопараметрические элементы с билинейной аппроксимацией температуры и перемещений. Между составными частями матрицы вводились слои специальных контактных элементов.

Специальным образом подобранные механические и теплофизические характеристики материала слоев [4] позволили моделировать условия идеального теплового контакта и механический натяг (0,02 мм) между составными частями матрицы. Решение задач теплопроводности и термоупругости в трех вариантах и заготовки проведено с помощью конечно-элементного программного комплекса SPACE-T [5].

Геометрические характеристики модели матрицы были приняты следующими: $R_1 = 13$ мм; $R_2 = 20$ мм; $R_3 = 28$ мм; $R_4 = 44,8$ мм; $h_1 = 20$ мм; $h_2 = 26,12$ мм; $h_3 = 100$ мм; $h_4 = 56,12$ мм; $a = 10$ мм. Расчет проводился для трех значений температурного воздействия на матрицу $T_1 = 100$ °С; $T_1 = 150$ °С; $T_1 = 200$ °С. На рис. 2 приведены графики зависимости температуры от радиальной координаты r в сечении матрицы $z = h_1$. Штриховыми линиями показаны габаритные радиусы матрицы в этом сечении.

Анализируя эти графики, можно отметить, что качественно в трех случаях распределение температуры практически идентично. Кроме того, по графикам можно проверить справедливость утверждений об автоматическом выполнении условий идеального теплового контакта при построении конечно-элементной модели. Графики непрерывные, гладкие монотонно убывающие, следовательно, можно утверждать, что в области соприкосновения различных частей модели с различными свойствами выполняются условия идеального теплового контакта.

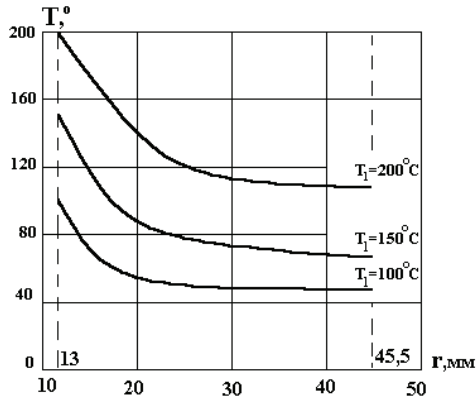


Рисунок 2 – Зависимость температуры от радиальной координаты в сечении матрицы при различных режимах нагрева

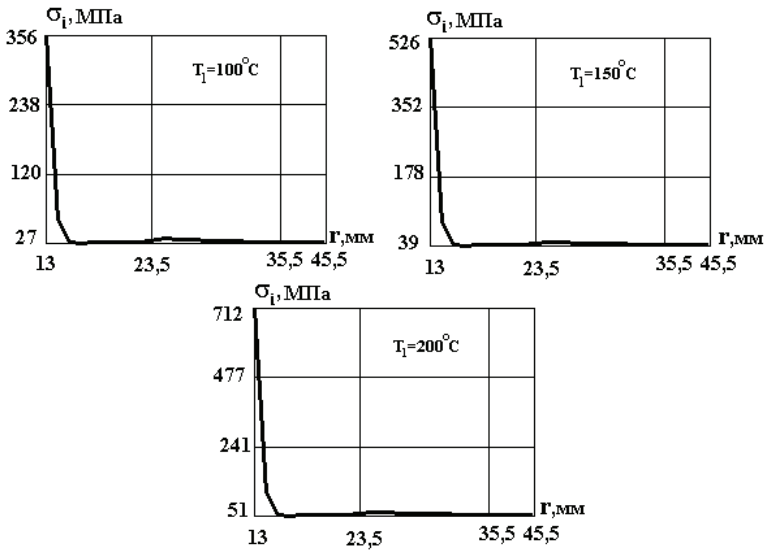


Рисунок 3 – Распределение интенсивности напряжений σ_i в нагретой матрице

После решения задачи стационарной теплопроводности решалась задача термоупругости со всеми упрощениями, оговоренными ранее. Учет влияния неравномерного нагрева производился путем введения квазистатических узловых усилий. На рис. 3 представлен графики распределения интенсивности напряжений в нагретой (за счет тепла, выделяющегося при деформировании) матрице в радиальном направлении в сечении $z = h_1$, при различных температурных режимах

Максимальные значения интенсивность напряжений $\sigma_i = 0,712$ ГПа достигается в точках зон, прилегающих к поверхности рабочей вставки в очаге деформации, которая, как и следовало ожидать, является наиболее нагруженным элементом конструкции из-за наибольшего перепада температуры на ней.

Следует отметить, что в большей части конструкции уровень напряжений гораздо (приблизительно в 12-15 раз) меньше чем в той части рабочей вставки, которая непосредственно контактирует с заготовкой.

В то же время известно, что от механического воздействия, которое является преобладающим для матриц, интенсивность напряжений достигает значений порядка 15 ГПа, т.е. воздействие тепловыделения при пластическом деформировании заготовки является незначительным и им можно пренебречь в дальнейших практических расчетах, что значительно сократит время задания исходной информации.

Выводы. Проведено моделирование составной бандажированной матрицы для полугорячего выдавливания в рамках осесимметричной постановки. Решены задачи теплопроводности и термоупругости. Решение проведено методом конечных элементов средствами программного комплекса SPACET.

Список литературы: 1. *Евстратов В.А.* Теория обработки металлов давлением. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. – 248 с. 2. *Евстратов В.А., Кузьменко В.И.* Совершенствование конструкций матриц для выдавливания и условия их крепления в штампах // Кузнечно-штамповое производство. – № 9. – 1997. 3. *Геллер Ю.А.* Инструментальные стали : 4-е изд. – М.: Металлургия, 1975. 4. *Конохов В.И., Лавинский Д.В.* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». - Харків: НТУ «ХПІ». - 2003. - № 5. - С. 93-98. 5. *Бондарь С.В., Зубатый С.С., Киркач Б.Н., Лавинский В.И.* Программный комплекс SPACET для решения термоупругопластических контактных задач // Динамика и прочность машин. – 2000. – № 57. – С. 24-34.

Поступила в редколлегию 17.11.2010