

УДК 620.178
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
СТАЛЕЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ

Н. В. ЗИНЬКЕВИЧ, * А. В. ШИРКО, А. П. КРЕНЬ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

* Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Измерение твердости является одним из наиболее массовых испытаний в промышленности. Оно основано на оценке параметров (усилия и площади отпечатка) локального контактного взаимодействия индентора и испытуемого материала. В настоящей работе представлена конечно-элементная модель процесса динамического внедрения индентора в металл, характерного для твердомеров с ударным принципом действия. Создание такой модели было вызвано необходимостью сокращения трудоемких экспериментальных работ по измерению твердости конструкций, обладающих недостаточной жесткостью (например, тонкостенных труб), для которых при контроле происходит не только локальное внедрение индентора в материал, но и наблюдается прогиб всей конструкции.

На первом этапе исследования была построена геометрическая модель (рис. 1), имеющая заранее подготовленный параллелепипед, примыкающий к контактной поверхности, на котором строилась подробная, строго гексагональная сетка (рис. 2). Наконечник внедряемого индентора имел форму сферы радиусом 1,15 мм.

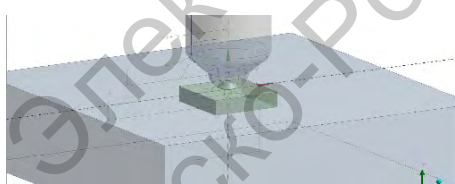


Рис. 1. Геометрическая модель внедрения индентора в стальной образец



Рис. 2. Гексагональная конечно-элементная сетка модели

Физико-механические характеристики индентора соответствовали карбиду вольфрама ВК6 с модулем упругости $E=700$ ГПа и коэффициентом Пуассона $\mu=0,3$. Характеристики материала – стали.

При моделировании контактного взаимодействия использовалась вязкопластическая модель поведения. В качестве закона упрочнения применялось изотропное упрочнение, основанное на мультилинейной диаграмме деформирования (рис. 3). Поскольку при ударных нагрузках важен учет вязкопластических свойств материала, совместно с диаграммами деформи-

рования использовалась модель Перзына (Perzyna), которая предполагает, что скорость пластической деформации $\dot{\epsilon}_{pl}$ является функцией параметра упрочнения (m), параметра вязкости материала (γ) и предела текучести (σ_0):

$$\dot{\epsilon}_{pl} = \gamma \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} - 1 \right)^{1/m} . \quad (1)$$

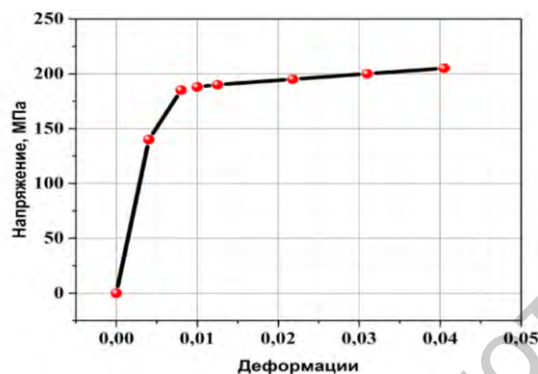


Рис. 3. Мультилинейная диаграмма деформирования

Предударная скорость индентора при моделировании принималась равной 0,8 м/с, что соответствовало ее характерному значению для динамических твердомеров типа ТПЦ-4. Задача решалась методами неявной динамики в нестационарной постановке. Минимальный временной шаг составлял 0,1 мкс, максимальный 2 мкс. Адекватность модели оценивалась по результатам натурного эксперимента для образца из стали с параметрами, соответствующими задаваемым при моделировании. На рис. 4 представлены результаты сравнения экспериментальной и теоретической диаграмм вдавливания в координатах «контактное усилие – глубина вдавливания». Как видно из рис. 4, они достаточно точно совпадают (аналогичные результаты были получены и для других материалов), что позволяет говорить об адекватности модели и возможности ее использования в дальнейших работах.

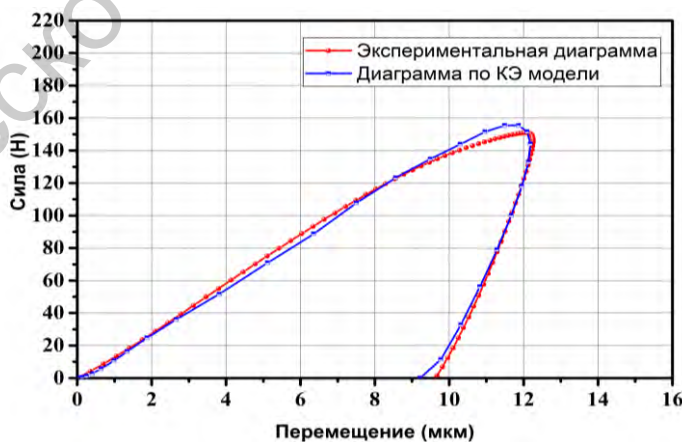


Рис. 4. Экспериментальная и теоретическая диаграммы внедрения индентора в образец из стали ($\sigma_0=200$ МПа, $E=210$ ГПа, $\mu=0,3$)