

УДК 621.983.3.044.002

СКОРОСТНОЙ ЭФФЕКТ В ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Огородников В.А., Архипова Т.Ф.

Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина

Аннотация: Рассмотрены задачи технологической механики при динамическом нагружении (разрушение элементов конструкции автомобиля при авариях). Представлены результаты определения энергии деформации, которая зависит от скорости деформации. Показано влияние скорости деформации на энергию деформации.

Ключевые слова: скоростной эффект; задачи механики; механика твердого тела

Известно, что в процессах динамического нагружения при обработке металлов давлением, в условиях ударного нагружения транспортных средств металлы обладают различной величиной энергопоглощения. Так, для большинства машиностроительных материалов и автомобильных материалов, в динамических условиях нагружения требуется больше затрат энергии по сравнению с условиями квазистатического нагружения. При этом величина деформации уменьшается, а интенсивность напряжений растет. Это обстоятельство касается главным образом качественных конструкционных углеродистых и легированных сталей. Исключение составляют цветные металлы [1]. Целью работы является на основе феноменологических методов изучения механики деформируемых твердых тел разработать способы оценки энергии деформации в условиях квазистатического и динамического нагружения в аварийных ситуациях в условиях дорожно-транспортных происшествий.

Рассмотрим предложенную нами модель учета скоростного эффекта в условиях удара транспортных средств. Современные феноменологические критерии содержат экспериментальные данные о механических характеристиках материалов, на основе которых формируется «карта материала». Известно, что в условиях статического нагружения металлы упрочняются. В теории пластичности принято аппроксимировать зависимость интенсивности напряжений σ_i (по Мизесу)

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}$$

от интенсивности деформаций

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}$$

кривой упрочнения Людвига

$$\sigma_i = A \varepsilon_i^n, \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – главные деформации, коэффициенты A и n в (1) имеют физический смысл: $A = \sigma_i$ для изотропно упрочняющегося материала при $\varepsilon_i = 1$; $n = \varepsilon_i$ – величина интенсивности деформации на условной диаграмме растяжения при максимальном напряжении.

В работе [1] кривую упрочнения в условиях динамического нагружения аппроксимировали уравнением

$$\sigma_i = A_v \varepsilon_i^{n_v}, \quad (2)$$

где коэффициент A_v может изменяться в зависимости от скорости деформирования следуя равенству:

$$A_v = A \left[1,045 + \frac{\ln(0,0027 + \dot{\varepsilon}_i)}{135} \right], \quad (3)$$

а коэффициент n_v в формуле (2) – следуя равенству

$$n_v = n \exp[-0,1273 \ln(1 + \dot{\varepsilon}_i)]. \quad (4)$$

В формулах (2), (3) и (4) коэффициенты A_v и n_v – коэффициенты аппроксимации кривой упрочнения, учитывающие влияние скорости деформации; $\dot{\epsilon}_t$ – скорость интенсивности деформаций (c^{-1}).

В условиях ударного нагружения транспортных средств в различных участках элементов влияние скорости деформации на энергопоглощение зависит от близости расположения элемента конструкций от места удара – по мере удаления от места удара это влияние уменьшается [1].

Распределение скоростей деформаций, например, при тестовом CRASH – испытании автомобиля [2] составляют при $V_0 = 64,4$ км/ч вблизи места удара – $200 c^{-1}$, на некотором удалении – $100 c^{-1}$ и на удалении, где наблюдается незначительные пластические деформации – $70 c^{-1}$.

Рассмотрим пример расчета энергии деформации, поглощенной автомобилем Volvo при скорости в момент удара $V_0 = 85$ км/ч. Результаты расчета показали возрастание энергии с учетом динамического нагружения в 1,3 раза. ($W_{defстатик}=74308$ Дж; $W_{defдинам}=101239$ Дж).

На рис. 1, 2 показаны зависимости коэффициентов аппроксимации A_v и n_v от скорости деформаций для материала капота автомобиля Volvo.

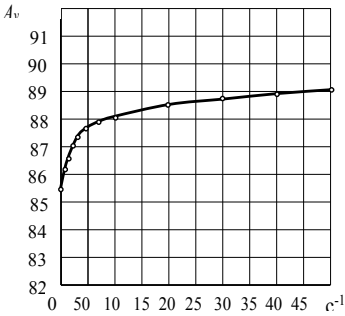


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента динамического упрочнения A_v от скорости деформирования

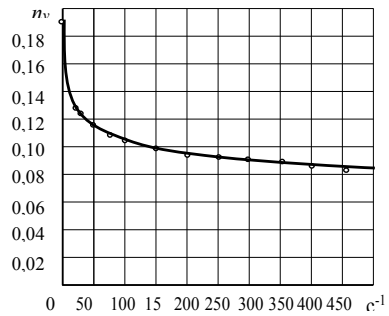


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента n_v от скорости деформирования

Как следует из рис. 1 коэффициент упрочнения кривой течения с ростом скорости деформаций возрастает согласно уравнения

$$\bar{A}_v = B \dot{\epsilon}_t^m, \quad (5)$$

где $B = 825$ МПа, $m = 0,0163$ – коэффициенты аппроксимации.

На рис. 2 зависимость $n_v = f(\dot{\epsilon}_t)$ аппроксимирована выражением

$$n_v = n \cdot \exp(-\lambda \dot{\epsilon}_t), \quad (6)$$

где $n = 0,19$ – показатель степени n кривой упрочнения (3), λ – коэффициент аппроксимации.

Для изотропных материалов коэффициент n в (3), как уже отмечено выше, равен интенсивности деформаций при максимальном напряжении на условной диаграмме растяжения. Как следует из рис. 2, величина интенсивности деформаций с ростом скорости деформаций существенно уменьшается. Однако удельная потенциальная энергия деформации

$$W_{def} = \int \sigma_t d\epsilon_t = A \int \epsilon_t^n d\epsilon_t = \frac{A \epsilon_t^{n+1}}{n+1} \quad (7)$$

для рассматриваемых сталей возрастает.

Рассмотрим также пример расчета энергии деформации в условиях динамического нагружения железобетонных конструкций, армированных прокатом серповидного профиля класса A500с из стали 3Гпс путём испытания в статических условиях цилиндрических образцов на сжатие до разных степеней деформации построена кривая упрочнения. Коэффициенты A и n формулы (3) оказались соответственно равны: $A = 1032$ МПа, $n = 0,27$.

В табл. приведенны результаты расчета удельной потенциальной энергии, полученной в динамических условиях к энергии, рассчитанной в условиях статики. Коэффициент $K = \frac{W_{\text{д}}}{W_{\text{ст}}}$ в табл. изменяется от 1,25 до 1,5 для различных степеней деформаций при скорости деформаций равной 200 c^{-1} . По результатам, приведенным в табл., получена зависимость удельной работы деформации от скорости интенсивности деформаций для различных степеней деформаций. Эти зависимости аппроксимированы показательными функциями:

$$W_{\text{д}} = B \dot{\epsilon}_i^m, \quad (8)$$

где $B = 812 \text{ МПа}$ для статических условий, $B = 983 \text{ МПа}$ – для $\dot{\epsilon}_i = 100 \text{ c}^{-1}$, $B=977$ для $\dot{\epsilon}_i = 150 \text{ c}^{-1}$, $B = 968$ для $\dot{\epsilon}_i = 200 \text{ c}^{-1}$. Показатель степени m уравнения (9) оказался величиной, слабо зависящим от скорости деформаций ($m = 1,1$; $m = 1,15$; $m = 1,15$ для соответствующий скоростей деформаций).

Для статических условий нагружения коэффициент $m \approx 1,23$.

Таблица

Зависимость коэффициента K_V и удельной работы пластической деформации $W_{\text{д}}$ от скорости деформации для арматурной стали

Интенсивность деформации $\dot{\epsilon}_i$	Коэффициент K_V			Удельная работа пластической деформации			
	$\dot{\epsilon}_i = 100$ (c^{-1})	$\dot{\epsilon}_i = 150$ (c^{-1})	$\dot{\epsilon}_i = 200$ (c^{-1})	Статика	$\dot{\epsilon}_i = 100$ (c^{-1})	$\dot{\epsilon}_i = 150$ (c^{-1})	$\dot{\epsilon}_i = 200$ (c^{-1})
0,2	1,446	1,477	1,499	105,68	152,06	155,347	157,640
0,3	1,377	1,403	1,420	176,024	242,413	246,901	250,028
0,4	1,330	1,352	1,367	253,676	337,490	342,997	346,832
0,5	1,295	1,314	1,327	336,809	436,242	442,619	447,059
0,6	1,267	1,284	1,296	424,587	538,024	545,144	550,100
0,7	1,244	1,259	1,269	516,426	642,398	650,147	655,541
0,8	1,224	1,238	1,247	611,891	749,042	757,320	763,083

Выводы. 1. Разработана модель учета деформационного упрочнения в динамических задачах механики твердого тела. 2. Рассмотрен пример оценки влияния скоростного эффекта в условиях дорожно-транспортного происшествия. Показано, что энергопоглощение при ударе транспортных средств в 1,25 раза выше по сравнению в квазистатических условиях.

High-speed effect in the problems of solid body mechanics

Ogorodnikov V.A., Arkhipova T.F.

Abstract. The tasks of technological mechanics under dynamic loading are considered (destruction of vehicle structural elements in case of accidents). The results of determining the strain energy, which depends on the strain rate, are presented. The effect of strain rate on the strain energy is shown.

Keywords: speed effect; mechanics tasks; solid mechanics

Швидкісний ефект в задачах механіки твердого тіла

Огородніков В.А., Архіпова Т.Ф.

Анотація. Розглядаються завдання технологічної механіки при динамічному навантаженні (руйнування конструктивних елементів транспортних засобів у разі аварій). Представлені результати визначення енергії деформації, яка залежить від швидкості деформації. Показано вплив швидкості деформації на енергію деформації.

Ключові слова: швидкісний ефект; завдання механіки; механіка твердого тіла

Список литературы

1. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : [монография] / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак – Винница. : Универсум–Винница, 2005. – 204 с.