

Удельная энергоемкость пластического вытеснения материала при сферическом индентировании

П.М. Огар^a, В.А. Тарасов^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^aogar@brstu.ru, ^bTV-post@ya.ru

Ключевые слова: сферический индентор, кинетическое индентирование, работа пластического деформирования, объем вытесненного материала, глубина остаточной лунки, твердость по Мартелю, пластическая твердость.

С использованием аналитических зависимостей, описывающих процесс нагрузки и разгрузки при кинетическом индентировании сферой, определена удельная энергоемкость пластического вытеснения материала от уровня исходной поверхности. При этом сделано допущение о сферической форме остаточной лунки. Энергетическая твердость материала определена как отношение приращения работы пластического деформирования к приращению объема вытесненного материала.

В ряде недавних работ [1-4] авторами получены аналитические зависимости описывающие процесс нагрузки и разгрузки при сферическом индентировании с использованием результатов конечно-элементного анализа. В этом случае представляется возможность теоретическим путем определить твердость – свойство материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого материала, если известны физико-механические свойства индентора и материала, полученные при испытании на растяжение. В большинстве случаев твердость определяется как отношение величины нагрузки к площади поверхности, площади проекции или объему отпечатка. При этом различают поверхностную, проекционную и объемную твердость, однако, как указано в [5], общепринятая классификация способов расчета твердости, основанная на уровне прилагаемой нагрузки и глубине индентирования не отражает современного понимания этого свойства и не учитывает весь объем информации, полученный при испытаниях. Как следует из критериев оценки твердости [5] энергетический подход используется только при определении твердости по Мартелю, представляющий собой отношение работы к объему восстановленного отпечатка. В данной работе предложен новый подход, основанный на отношении работы пластической деформации к объему вытесненного материала, т.е. к объему лунки, ограниченного уровнем исходной поверхностью.

Диаграмма кинетического индентирования представлена на рис. 1. Считаем, что скорость нагружения такова, что исключается необходимость выдержки при максимальной нагрузке P_m . Допустим, что $P_m \gg P_y$, где P_y – критическая нагрузка [4], соответствующая началу пластической деформации.

В таком случае ветвь нагружения можно описать выражением

$$P = C_1 h^\alpha, \quad (1)$$

а ветвь разгрузки

$$P_e = C_2 (h_e - h_f)^m, \quad (2)$$

где C_1 , C_2 – константы, α , m – показатели степени.

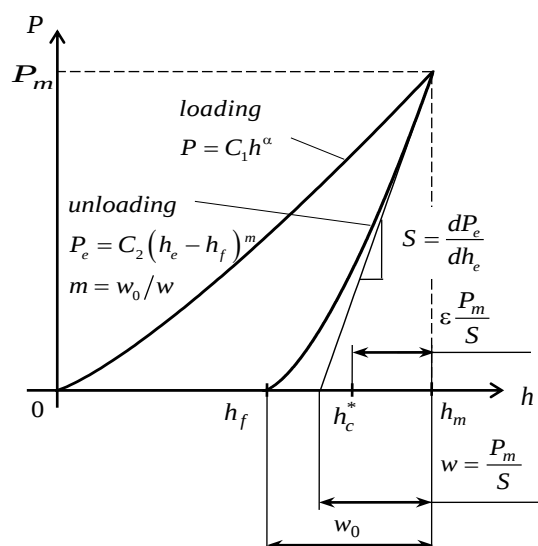


Рис.1. Диаграмма кинетического индентирования материала

Если известны константы ветви нагружения C_1 и α , то C_2 определяется из условия равенства усилий при $P = P_m$

$$C_2 = \frac{C_1 h_m^\alpha}{(h_m - h_f)^m}. \quad (3)$$

Данная величина определяет необходимое дополнительное количество работы ΔA приходящееся на величину вытесненного объема ΔV .

Таблица 1

Значения энергетической и пластической твердости

№, П/П	ε_y	n	$\frac{HE}{E_c}$	$\frac{HD}{E_c}$	$\delta, \%$
1	0,001	0,0	0,00408	0,00372	8,8
2	0,003		0,014	0,014	0
3	0,005		0,025	0,026	-4,0
4	0,001	0,1	0,00666	0,00642	3,6
5	0,003		0,019	0,019	0
6	0,005		0,032	0,034	-6,3
7	0,001	0,2	0,00998	0,01	-0,2
8	0,003		0,026	0,028	-7,7
9	0,005		0,041	0,046	-12,2

В таблице 1 представлены значения энергетической твердости для материалов с различными значениями ε_y , n для диапазона $\bar{h} = 0,05 \dots 0,3$. Там же представлены значения пластической твердости по М.С. Дрозду, определенные методом "двукратного вдавливания" по ГОСТ 18835-73 для того же диапазона $\bar{h}$

Литература

1. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Развитие инженерных расчетов характеристик контакта жесткой сферы с упругопластическим полупространством // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1. С. 80-87.
2. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Описание взаимодействия жесткой сферы с упругопластическим полупространством // Труды братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 1. С. 163-169.
3. Турченко А.В. Особенности расчета характеристик контакта жесткой сферы с упругопластическим полупространством // Труды братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 1. С. 177-183.
4. Турченко А.В. Определение показателя степени кривой разгрузки при кинетическом индентировании // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 3. С. 17-20.
5. Мощенок В.И. Современная классификация методов определения твердости // Автомобильный транспорт. 2010. Вып. 25. С. 129 -132.
6. Hernot X., Bartier O., Bekouche Y., Abdi R. El., Mauvoisin G. Influence of penetration depth and mechanical properties of contact radius determination for spherical indentation // International Journal of Solids and Structures. 2006. № 43. P. 4136-4153.
7. Collin J.-M., Mauvoisin G, Pitvin P. Materials characterization by instrumented indentation using two different approaches // Materials and Dising. 2010. Vol. 31. P. 636-640.
8. Огар П.М., Тарасов В.А. Влияние формы осесимметричной нагрузки на напряженно-деформированное состояние упругопластического полупространства // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 5. С. 14-20.

Пример – авторы из четырех организаций.

УДК 69.002.5: 621.879

Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов

О.И. Недавний^{1, a}, С.В. Базилевич^{2, b}, С.М. Кузнецов^{3, c}, С.И. Васильев^{4, d}

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, пл. Соляная 2, Томск, Россия

²Омский государственный университет путей сообщения, пр. Маркса 35, Омск, Россия

³Новосибирский государственный университет путей сообщения, ул. Д. Ковальчук 191, Новосибирск, Россия

⁴Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 82, Красноярск, Россия

^akirpich@mail.tomsknet.ru, ^bbcv65@mail.ru, ^cksm56@bk.ru, ^dS-vasilev1@yandex.ru

Пример – авторы из двух организаций

УДК 676.08

Разработка технологии производства анодной массы из хвостов флотации угольной пены

А.Н. Баранов^{1, a}, А.В. Гуляев^{1, b}, А.С. Янюшкин^{2, c}

¹НИ Иркутский государственный технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

²Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^abaranov@istu.edu, ^bGav89_89@mail.ru, ^cyanyushkin@brstu.ru