

Петренко О.В., Мельничук М.О.

Науч. рук. Дычко А.О.

**Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», Институт
энергосбережения и энергоменеджмента.**

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД В КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ

В работе рассмотрены эксперименты, связанные с воздействием температур на горный массив. Приведены графики и диаграммы, таблицы и схемы, с помощью которых можно рассмотреть воздействия температур наглядно. Рассчитана и приведена графическая зависимость долговечности горной породы от температуры.

Разрушение горных пород зависит от многих факторов: удары, нагрузки, процессов, связанных с высвобождением внутренней энергии Земли, температуры, атмосферного давления, влажности, воздействия приложенных статико-динамических усилий со стороны человека и используемой им техники.

Существует основное направление механики разрушения горных пород. В этом направлении предполагается, что разрушение тела происходит, как только в некоторой точке его комбинация параметров σ_{ij} , ε_{ij} , T и t достигает критического значения. Сам процесс разрушения при этом не рассматривается.

Типичным примером влияния температуры на долговечность могут служить данные для трех существенно различных твердых тел (рис. 1): алюминия (поликристаллический металл), капрона (ориентированный полимер) и каменной соли (ионный монокристалл).

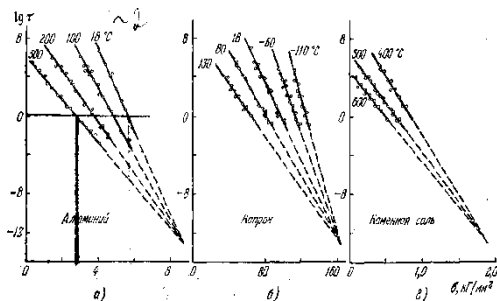


Рис. 1 – Силовые зависимости долговечности при разных температурах для твердых тел различного строения:

- а – алюминий;
- б – капрон;
- в – каменная соль

Отмечая однотипность всех графиков для металла, полимера и ионного кристалла, можно видеть, что с понижением температуры крутизна прямых $\lg \tau$ закономерно нарастает и при достаточно низкой температуре стремится к вертикальной прямой. Зависимость $\lg \tau$ от σ в низкотемпературной области становится весьма резкой. Небольшое изменение, σ приводит к огромному изменению долговечности.

Наблюдающееся увеличение крутизны зависимости $\lg \tau$ с понижением температуры позволяет объяснить причины введения d свое время такой прочностной характеристики твердых тел, как «предел прочности» [1].

Физический механизм воздействия температуры следующий. Атомы, из которых состоит твердое тело, совершают тепловые колебания в узлах кристаллической решетки с периодом 10-12 – 12-13 с. Под действием тепловых флуктуаций периодически происходит разрыв химических связей. Вероятность такого процесса сильно зависит от энергии активации U_0 и температуры T . Вероятность возрастает с увеличением температуры и снижением величины U_0 . Очевидно, что при внешнем напряжении $\sigma = 0$ энергия, необходимая для разрыва химических связей, будет равна

энергии связи, что и нашло подтверждение в опытах по механическому разрушению твердых тел [1].

Поскольку в состав пород входят различные минералы, имеющие различные значения тепловых параметров, электрических и магнитных характеристик, температур фазовых переходов и т.д. то для некоторых пород достижение максимума предела прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ будет зависеть от температуры нагревания. Например, максимум $\sigma_{сж} = f(T)$ для мелкозернистого гранита наблюдается при $T = 570 - 600K$. Для плотных мелкозернистых пород характерно повышение прочности при нагреве до температур 1100K, а для крупнозернистых – снижение прочности с самого начала нагрева. Но при температурах выше 1100K, как правило, у всех пород наблюдается раз упрочняющий эффект.

При нагреве модуль Юнга большинства пород уменьшается, при этом коэффициент Пуассона увеличивается и, как свидетельствуют результаты экспериментов, приближается до 0,5 то есть к условиям, при которых изменение длины ΔL образца компенсируется соответствующим изменением Δd .

Для аморфных горных пород и некоторых мелкозернистых характерно увеличение модуля Юнга с повышением температуры. Для глинистых пород при повышении температуры характерно спекание частиц и их упрочнение. У этого типа пород с повышением температуры прочностные параметры возрастают. Пластичность, ползучесть, релаксация напряжений с повышением температуры увеличиваются.

С практической точки зрения не менее важным являются исследования влияния низких температур. Установлено, что механические свойства горных пород чаще всего при низких температурах приобретают более прочные свойства, то есть модули упругости, крепость, твердость увеличиваются, а пластические и реологические характеристики снижаются. На рисунке 2 представлены результаты исследований изменения прочностных характеристик пород от воздействия температур в диапазоне температур жидкого азота от 0 К до 700 К.

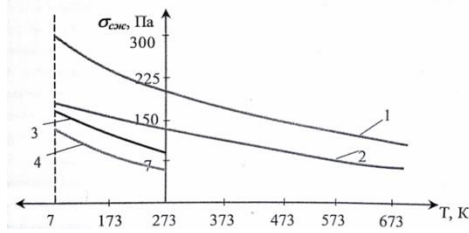


Рис. 2 – Изменение предела прочности при одноосном сжатии от температуры.

1 – железистый кварцит;

2 – гранит;

3 – габбро;

4 – лабрадорит

При низких температурах в рыхлых и связных породах наблюдается образование криогенной текстуры, обусловленное наличием воды в порах и трещинах. Такая текстура является своеобразным цементирующим средством [2].

В начале 50-х годов С.Н. Журков с сотрудниками предпринял систематические исследования зависимости долговечности твердых тел, самых различных по структуре и физическим свойствам, от приложенного напряжения и температуры. Экспериментально полученные зависимости между долговечностью τ_p , напряжением σ и температурой T позволили С.Н. Журкову установить следующий простой закон (форм. 1):

$$\tau_p = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{k_0 T}\right), \dots \dots \dots (1)$$

где, U_0 — энергия активации процесса разрушения,
 γ — коэффициент (показатель концентрации напряжений),

T — температура.

Величина τ_0 (10^{-13} с) оказалась практически одинаковой для любых твердых тел и их состояний. Энергия U_0 сохраняется постоянной для данного вещества при любом воздействии. В отличие от τ_0 и U_0 коэффициент k_0 легко изменяется в зависимости от обработки тела. Член $\gamma\sigma$ выражает ту работу, которую в разрушении тела выполняет внешняя сила.

Остальную часть работы $U_0 - \gamma\sigma$ выполняют тепловые флуктуации [2].

Из того факта, что при различных обработках данного вещества величина U_0 остается постоянной, а изменяется лишь коэффициент k_0 , следует важное заключение: межатомное воздействие, определяемое ближним порядком в расположении атомов, не меняется при варьировании состояния вещества. Меняется, следовательно, не атомное строение тела, а над атомное, т. е. происходят изменения взаимодействия, формы и величины областей с размерами в десятки—сотни атомных. Наличие такой субатомной структуры или дефектов определяет локальные напряжения в теле, а изменение данной структуры ведет к изменению уровня перенапряжения.

Итак, по кинетической теории разрушение твердых тел происходит следующим образом. Приложение к телу внешней нагрузки вызывает напряжение межатомных связей. При этом вследствие неоднородности строения реальных тел на субатомном уровне внешняя нагрузка распределяется неравномерно по связям: возникают локальные перенапряжения. В этих местах энергия активации распада межатомных связей понижается особенно сильно. Именно в этих местах наиболее интенсивно идут процессы термофлуктуационного разрыва напряженных связей. Здесь формируются очаги разрушения, развитие которых и заканчивается распадом тела на части.

Из работ Жаркова можно заключить, что процесс разрушения твердого тела имеет кинетический характер, то есть протекает во времени, и природа его для всех тел одинакова [3].

Следует отметить, что кинетический подход оправдан при достаточно высоких температурах и не очень больших напряжениях. При низких температурах тепловое движение атомов слабое и разрушение тел происходит практически атермическим путем. Кроме того, во многих случаях можно предположить два или три виртуальных механизма разрушения, в связи, с чем возникает задача сравнения эффективности каждого из механизмов.

Параллельно с теоретическими оценками и расчетами рационально ставить целенаправленные эксперименты, которые

позволили бы резко варьировать условия протекания тех или иных элементарных процессов с целью выяснения действительной роли каждого из них.

Экспериментально полученные зависимости между долговечностью τ_p , напряжением σ и температурой T возможно установить при использовании закона, описанного формулой 1.

Согласно имеющим экспериментальным данным испытания горной породы и расчетам приведем графическую зависимость долговечности горной породы (рис. 3).

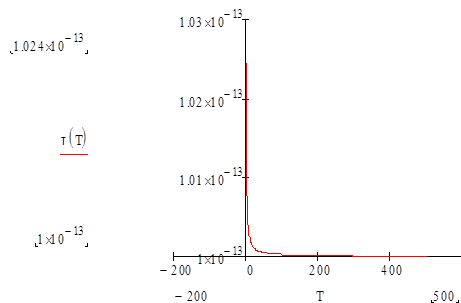


Рис. 3 – Зависимость долговечности породы от температуры

Вследствие проведенной работы можно сказать, что Механические свойства горных пород чаще всего при низких температурах приобретают более прочные свойства, то есть модули упругости, крепость, твердость увеличиваются, а пластические и реологические характеристики снижаются. Экспериментально полученные зависимости между долговечностью τ_p , напряжением σ и температурой T показали, что с повышением температуры прочность и соответственно долговечность горных пород уменьшается.

Библиографический список

1. Анисимова Т.В. Модельные представления процесса хрупкого разрушения полимеров в механических и температурных полях. – Научная диссертация/МИТХТ. – Москва, 2007. – 156 с.
2. Дмитриев А.П., Гончаров С.А. Термодинамические процессы в горных породах: Учебн. для вузов. – Москва: Недра, 1990. – 360 с.
3. Постников В.С. Физика и химия твердого состояния: Учебное пособие, М.:Металлургия, 1978. – 544 с.