

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАЗРУШЕНИЕ МЕТЕОРИТА ЧИНГЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

А. А. Пятков¹, В. И. Гроховский¹, С. В. Гладковский²

¹ – *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

² – *Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург, toxa06@e1.ru*

К настоящему моменту в мире практически не велись ударные испытания метеоритного вещества, и как следствие крайне ограничены сведения о влиянии температуры на разрушение при динамическом испытании вещества метеоритов. Одной из главных причин этого является тот факт, что метеоритное вещество на Земле является относительно редким, а для приготовления образцов для стандартных динамических испытаний требуется значительное количество вещества. В то же время в последние годы появились новые инструментированные методы испытаний, позволяющие получать информацию о поведении материалов под нагрузкой. Так же значительно увеличились аналитические возможности растровой электронной микроскопии и количественного анализа изображений, которые при исследовании поверхности разрушения позволяют получать более ясное представление о механике процессов разрушения метеоритов. Ранее было испытано вещество метеоритов Царев, Сихотэ-Алинь, Дронино и Чинге [Grokhovsky, 2010 a, b]. Было показано, что прочностные свойства вещества метеоритов различных типов зависят от макро- и микроструктуры вещества. Наибольшей ударной вязкостью среди исследованных метеоритов обладает высоконикелевый атаксит Чинге, имеющий субмикроскопическую структуру, состоящую из смеси дисперсионных α -Fe(Ni,Co), α_2 -Fe(Ni,Co) и γ -Fe(Ni,Co) фаз. В связи с этим в настоящей работе было изучено влияние температуры на сопротивление динамическому разрушению в процессе ударных испытаний вещества метеорита на примере высоконикелевого атаксита Чинге.

Испытания на ударный изгиб проводились по ГОСТ 9454 на образцах с U-образным надрезом при температурах 18.5 °С, –20 °С, –40 °С, –60 °С, –80 °С с использованием инструментированного маятникового копра Tinius Olsen IT542. Образцы были изготовлены из одного фрагмента атаксита Чинге, найденного Метеоритной экспедиции УГТУ-УПИ. Фрактографический анализ изломов образцов метеоритов осуществлялся на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-66490LV. При помощи программного пакета анализа изображения SIAMS Photolab количественно описан вязкий излом образцов после ударных испытаний при различных температурах.

В процессе проведения испытаний на ударный изгиб фиксировалась величина общей работы разрушения образцов (A) и записывались диаграммы ударного нагружения в координатах «нагрузка – перемещение». Обработка диаграмм ударных испытаний позволила разделить общую работу разрушения образцов (A) на ее составляющие – работу зарождения трещины (A_z) и работу распространения трещины (A_p). По полученным данным были построены зависимости полной работы разрушения A , работы зарождения A_z , работы распространения A_p трещины от температуры испытания (рис. 1). При понижении температуры, как и ожидалось, снижается полная работа разрушения. При понижении температуры испытания понижается вклад работы распространения в общую работу разрушения, что говорит о понижении динамической трещиностойкости вещества атаксита Чинге.

По значениям полной работы разрушения была рассчитана ударная вязкость (табл. 1). Согласно полученной зависимости ударной вязкости от температуры (рис. 2), установлено, что атаксит Чинге с субмикроскопической структурой не имеет характерного

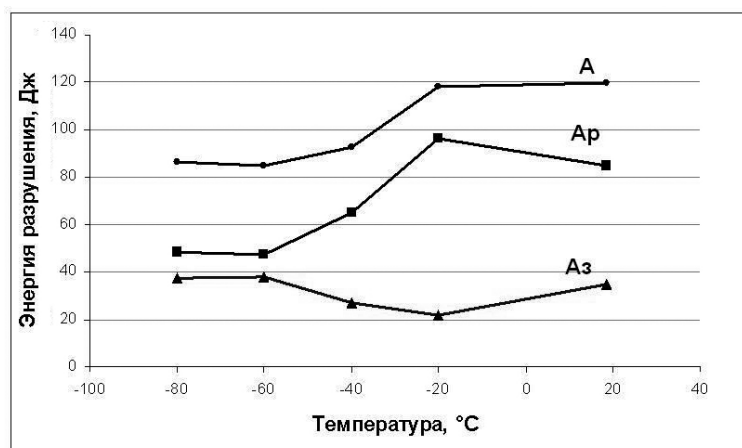


Рис. 1. Зависимость полной работы разрушения A, работы зарождения A_z , работы распространения A_p трещины от температуры испытания.

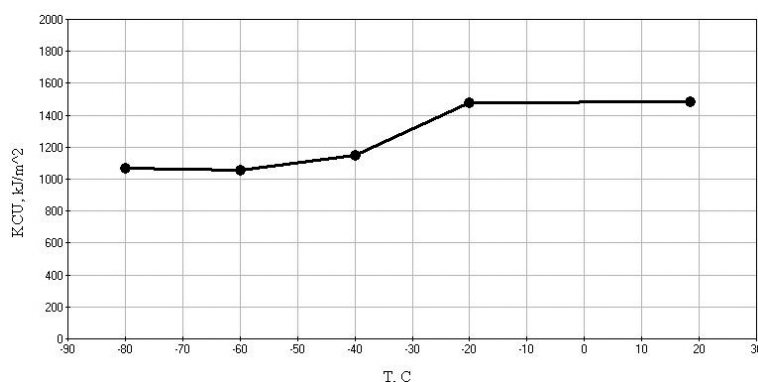


Рис. 2. Зависимость ударной вязкости от температуры испытания.

для ряда конструкционных сталей порога хладноломкости. Однако при понижении температуры испытания ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ударная вязкость понижается в 1.4 раза по сравнению с испытанием при комнатной температуре. В то время в статье [Johnson, 1979] представлены результаты испытаний вещества метеорита Nembyu при температурах $T = 300\text{ K}$ и $T = 195\text{ K}$. Ударная вязкость для метеорита Nembyu составила $KCU_{300} = 339\text{ кДж/м}^2$, $KCU_{195} = 84.8\text{ кДж/м}^2$. В этой работе приближенно рассчитана температура хрупко – вязкого перехода $T_{50} = 200\text{ K}$ железного метеорита Nembyu. Испытания двух образцов вещества метеорита Нова [Remo, 1975], аналогичного по структуре и химическому составу метеориту Чинге, показали, что для атаксита Нова температура хрупко-вязкого перехода $T_{50} = 150\text{ K}$, что достаточно меньше, чем у среднего октаэдрита Nembyu. При температуре $T = 195\text{ K}$ образец атаксита Нова показал абсолютно вязкий характер разрушения и значение ударной вязкости составило $KCV = 864.5\text{ кДж/м}^2$. Второй образец атаксита Нова при температуре $T = 77\text{ K}$ разрушился абсолютно хрупко, при этом $KCV = 88.1\text{ кДж/м}^2$.

Таблица 1

Прочностные свойства вещества атаксита Чинге

Температура испытаний, °C	18.5	-20	-40	-60	-80
Работа разрушения A, Дж	119.9	118.1	92.42	85.07	86.33
Работа зарождения трещины A_z , Дж	35.04	22.04	27.29	37.75	37.67
Работа распространения трещины A_p , Дж	84.89	96.10	65.12	47.32	48.65
KCU, кДж/м ²	1486	1476	1152	1054	1066

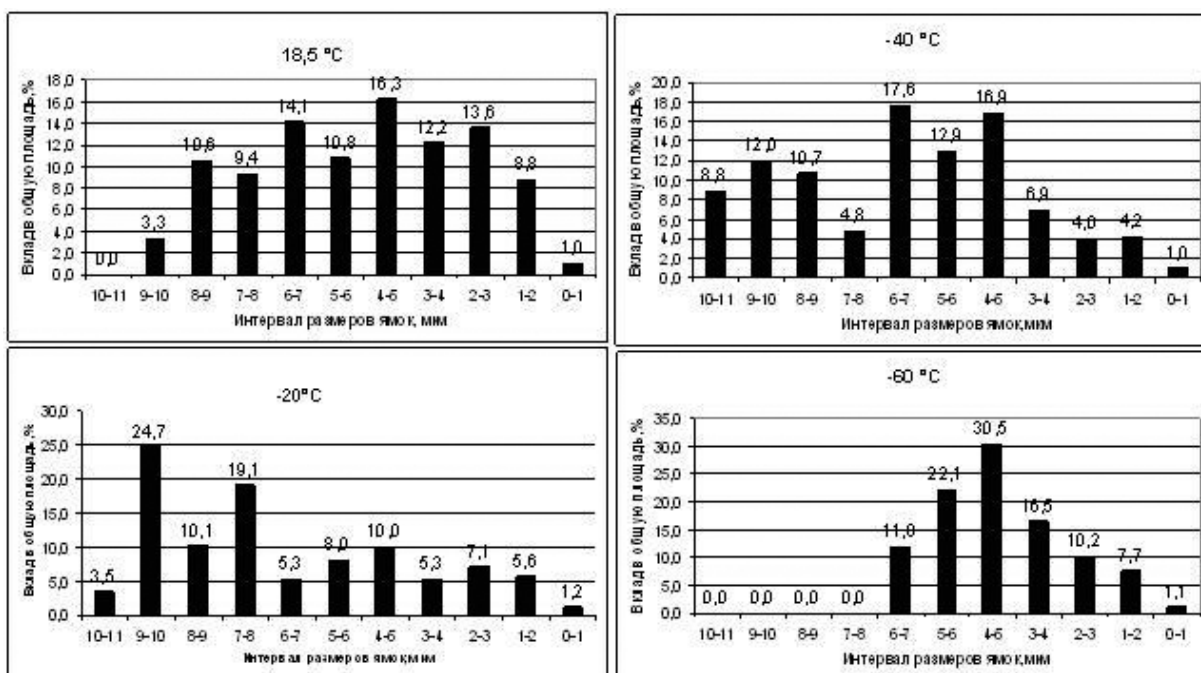


Рис. 3. Вклад ямок определенного размера в общую площадь зоны распространения трещины в образцах вещества метеорита Чинге при различных температурах испытания.

Фрактографический анализ изломов образцов после динамических испытаний при различных температурах показал, что вязкий характер излома сохраняется вплоть до температуры $T = -80$ °C. На изломе образца испытанного при $T = -80$ °C основную часть зоны распространения трещины занимает вязкий скол.

При количественном анализе фрактографических изображений установлен вклад ямок определенного размера в общую площадь зоны распространения трещины в образцах вещества метеорита Чинге при различных температурах испытания (рис. 3). Заметно, что с понижением температуры испытания понижается доля крупных ямок. Это согласуется с мнением, что при разрушении энергоёмкость образования более крупных ямок выше, чем мелких ямок.

Таким образом, впервые было исследовано сопротивление динамическому разрушению в процессе ударных испытаний вещества метеорита в интервале температур от 18.5 °C до -80 °C на примере атаксита Чинге. Установлено, что метеорит Чинге IVB с субмикроскопической смесью минералов камасита, тенита, тетратенита и мартенсита не имеет характерного для металлических сплавов порога хладноломкости, и сохраняет вязкий характер излома во всем диапазоне температур испытаний.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-«Урал» № 10-05-96047.

Литература

- Grokhovsky V. I., Gladkovsky S. V. Impact mechanical tests of meteorites. Meteoritics and Planetary Science. 2010a, 45, A69.
- Grokhovsky V., Gladkovsky S., Kozlovskikh E. The failure of meteorites at impact tests. European Planetary Science Congress. EPSC2010. Rome, 2010b, № 890.
- Johnson A. A. The Low temperature impact properties of the meteorite Hoba / A. A. Johnson, J. L. Remo, R.B. Davis // Journal of Geophysical research. 1979. № 84. P 1683–1688.
- Remo J. L. A preliminary study of the ductile-brittle transition under impact conditions in material from an octahedrite / J. L. Remo, A. Johnson // Journal of Geophysical research. 1975. № 80. P. 3744–3748.