

Сергей Владимирович Разоренов¹, А.С. Савиных¹, Г.В. Гаркушин¹, Р.Ф. Муфтахетдинова²,
И.В. Хомская³.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

¹*Федеральный Исследовательский Центр Проблем Химической Физики и Медицинской Химии
РАН, 142432 Черноголовка, Россия*

²*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002
Екатеринбург, Россия*

³*Институт физики металлов УрО РАН им. М.Н. Михеева, 620108 Екатеринбург, Россия*

Исследования метеоритного или кометного вещества до настоящего времени остаются главным источником получения информации о процессах формирования нашей планетарной системы на самой ранней ее стадии, т.е. около 5 миллиардов лет назад. Кроме того, на протяжении последних десятилетий остаются актуальными вопросы защиты Земли от возможных катастрофических соударений с массивными космическими телами [1]. Предлагается более десятка методов борьбы с такими высокоскоростными столкновениями, часть из которых связана с предварительным разрушением крупноразмерных метеоритов на достаточно мелкие и уже безопасные осколки с помощью подрыва на их поверхности или рядом ядерного боеприпаса или массивного заряда мощного взрывчатого вещества. В настоящем времени и в ближайшем будущем в силу многих известных обстоятельств, по-видимому, будет сложно провести «натурные» эксперименты, в связи с чем, в большинстве научных центров, связанных с этой проблемой, проводятся многочисленные компьютерные симуляции таких ситуаций. В свою очередь такие расчеты требуют максимально возможного количества знаний о свойствах метеоритного вещества, в том числе и их прочностных характеристиках, особенно при сильных динамических нагрузках. Так как источниками таких веществ могут быть только найденные на Земле фрагменты метеоритов, достигших ее после пролета атмосферы и удара по поверхности, измерений их прочностных характеристик практически не проводилось.

В данной работе впервые проведены измерения откольной прочности образцов железных метеоритов, известных как Чинге, Сеймчан, Сихотэ-Алинь и Дронино, найденных в разных районах на территории России в 20-м веке, и каменных метеоритов хондритовой группы Царев L5, Calama 009 L6, Челябинск LL5 и Каинсаз CO3.2. Измерения выполнены при ударном нагружении интенсивностью ~5.5 и ~11 GPa железных и до 3 ГПа каменных метеоритов при средней скорости деформирования материала перед откольным разрушением 10^5 s^{-1} . Нагружение проводилось с помощью пневматической пушки ПП150, в процессе нагружения с помощью лазерного интерферометра VISAR регистрировались профили скорости контактной поверхности, из анализа которых определялись их прочностные характеристики.

Образцы всех исследованных железных метеоритов демонстрируют характерное для большинства конструкционных сплавов и сталей упругопластическое поведение при высокоскоростном деформировании при ударном сжатии. Максимальное значение динамического предела упругости ~1.6 GPa измерено на образце метеорита Сихотэ-Алинь, его минимальное значение ~0.9 GPa демонстрируют образцы метеорита Сеймчан. Путем сравнительного анализа показано, что откольная прочность всех исследованных метеоритов при данных условиях нагружения близка к прочности железо-никелевого сплава Nb6, имеющего близкий элементный химический состав, а также сталей и сплавов различного назначения, включая чистое железо. Результаты сделанных в этой работе измерений косвенно подтверждают полученные ранее данные и выводы, что метеоритное вещество сохраняет практически неизменными свои прочностные свойства в объеме оставшихся целыми фрагментов после прохождения земной атмосферы и соударения с ее поверхностью.

Измерения динамического предела упругости и критических растягивающих разрушающих напряжений (откольной прочности) каменных метеоритов группы хондритов Царев L5, Calama 009 L6, Челябинск LL5 и Каинсаз CO3.2 при ударно-волновом воздействии показали следующее. Измеренная откольная прочность исследованных образцов каменных метеоритов Царев и Calama 009 составляет 50 – 100 МПа, максимальную прочность ~ 300 МПа

демонстрируют образцы метеорита Каинсаз, наименьшая (>30 МПа) откольная прочность была измерена на образцах метеорита Челябинск. Для сравнения были проведены измерения откольной прочности пироксена, измеренная величина которой около 60 МПа оказалась близкой к прочности каменных метеоритов. Максимальный предел упругости (~ 2.9 ГПа) демонстрируют образцы метеорита Царев, для остальных метеоритов его величина значительно ниже и варьируется в пределах 0.4 – 1 ГПа.

Полученные экспериментальные данные о характере откольного разрушения и оценка влияния дефектности структуры объектов (метеоритов) внеземного происхождения на их сопротивление деформированию и разрушению при субмикросекундных длительностях нагрузки позволит расширить существующие представления об их прочностных свойствах при сильных динамических воздействиях и стать надежной основой для адекватных модельных расчетов реакции реальных космических тел, представляющих серьезную опасность при их возможном соударении с Землей, при реализации предлагаемых взрывных методов защиты.

Работа выполнена в рамках Госзадания по программе «Комплексное исследование физико-химических свойств и процессов в веществе в условиях высокоэнергетических воздействий», № темы FFSG-2024-0001, регистрационный номер 124020600049-8. Ударно-волновые эксперименты проведены с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Перспективные взрывные технологии" Российской академии наук. Исследование частично выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой «Приоритет-2030» и по проекту №FEUZ-2023-0014.

[1] Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. / Шустов Б.М., Рыхлова Л.В.: ФИЗМАТЛИТ; Москва; 2010, 372 стр. ISBN 978-5-9221-1241-3