

Подобие атомистического и гидродинамического описания пыления поверхности металлов при ударно-волновом нагружении.

С. А. Дьячков^{1,2}, А. Н. Паршиков¹, В. В. Жаховский¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

При механической обработке материалов на поверхности материалов остаются регулярные углубления микрометрового размера. При выходе ударной волны на такую поверхность могут возникать микроскопические кумулятивные струи. В эксперименте довольно сложно получить пространственно-временную развертку процесса образования таких струй. Тем не менее, особенности явления пыления поверхности могут быть выявлены с помощью сравнительного моделирования методами молекулярной динамики (MD) и сглаженных частиц (SPH).

В данной работе проводилось моделирование экспериментов [1] с медью и оловом обоими методами. Метод SPH позволяет проводить расчёты образцов в реальных масштабах эксперимента. Однако, получаемые результаты зависят от выбора модели разрушения, уравнения состояния и наличия поверхностного натяжения. Характеристики материала в MD моделировании полностью определяются межатомным потенциалом взаимодействия, что позволяет избежать проблем, присущих гидродинамическим расчётам. В настоящее время линейный размер образца в MD ограничен сверху величиной порядка 1 мкм по доступным вычислительным ресурсам, поэтому результаты MD моделирования необходимо масштабировать для сравнения с экспериментальными данными.

Исследование процесса пыления атомистическими и гидродинамическими подходами активно ведется [2,3]. При этом разрабатываются полуэмпирические модели для определения скоростей струй и распределения выброшенного с поверхности вещества. Однако вопрос масштабирования результатов MD расчётов остается открытым. Мы показали, что для достаточно сильных ударных волн достигается хорошее соответствие профилей скорости и пространственного распределения выброшенной массы в обоих методах. Но для слабых ударных волн и небольших углублениях на поверхности

переход от атомистического к гидродинамическому режиму может быть затруднён. В этих условиях прочностные свойства материала и поверхностное натяжение оказывают значительное влияние на характеристики струй на атомарных масштабах. Нами показано, что увеличение MD образца приводит к уменьшению этих эффектов, так что устанавливается подобие с SPH и экспериментальными данными.

Литература

1. W. T. Buttler [et al.] Unstable Richtmyer–Meshkov growth of solid and liquid metals in vacuum. // J. Fluid Mech. – 2012. – V. 703. – P. 60-84.
2. O. Durand and L. Soulard, Power law and exponential ejecta size distributions from the dynamic fragmentation of shock-loaded Cu and Sn metals under melt conditions. // Journal of Applied Physics. – 2013. – V. 114. – P. 194902.
3. G. Dimonte [et al.] Ejecta source model based on the nonlinear Richtmyer-Meshkov instability. // Journal of Applied Physics. – 2013. – V. 113. – P. 024905.