**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ КОСОМ СОУДАРЕНИИ ПЛАСТИН**

**Киселев С.П.**

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,

г. Новосибирск

kiselev@itam.nsc.ru

В работе приведены результаты численного моделирования методом молекулярной динамики косого соударения пластин. Исследованы процессы образования волн на поверхности контакта пластин при их косом соударении. Показано, что образование волн на контактной поверхности обусловлено автоколебаниями в области высокого давления в окрестности точки контакта пластин.

Проблема волнообразования при сварке взрывом была поставлена более 40 лет назад М.А. Лаврентьевым [1]. Существует большое число гипотез волнообразования, обзор которых приведен в [2]. Несколько лет назад этой проблемой вновь вернулся С.К. Годунов, который возглавил интеграционный проект президиума СО РАН, посвященный этому вопросу. В проект вошли сотрудники ИМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ИВМиМГ СО РАН. С.К. Годуновым с сотрудниками в рамках релаксационной модели Максвелла была решена задача о косом соударении пластин, в которой были обнаружены волны на контактной границе [3]. Образование волн на контактной границе было так же обнаружено в численных расчетах зарубежных авторов, выполненных в рамках упругопластической модели Прандтля – Рейса [4]. Эксперименты и численные расчеты показывают, что волны возникают в области контакта пластин, где наблюдаются большие деформации, фазовые превращения и разрушение материала. В результате в этой области может нарушаться корректность уравнений механики сплошной среды. Для решения данной проблемы в работах [5, 6] предложено проводить численное моделирование косого соударения пластин методом молекулярной динамики (МД). Результаты расчетов, полученные методом МД, позволили выяснить картину волнообразования в области контакта пластин.

В [6] показано, что в случае симметричного соударения пластин раскачка колебаний происходит за счет смещения точек растекания струй в области высокого давления, возникающая за счет возмущений, приходящих в эту область. Поскольку точки растекания струй совпадают с точками приложения сил, то их смещение приводит к возникновению пары сил, вызывающей колебания контактной поверхности пластин. В дальнейшем эти точки растекания колеблются друг относительно друга и порождают волны, которые выносятся из области высокого давления и «замораживаются» в материале пластин. Данная колебательная система проявляет все четыре свойства, присущие автоколебаниям. Во первых, за счет втекающих струй имеется постоянный поток кинетической энергии в область высокого давления. Во вторых, в пластинах при их деформации возникают упругие напряжения, возвращающие систему в исходное состояние. В третьих, период колебания, который равен длине волны, деленной на скорость точки контакта, определяется вязкими напряжениями, ограничивающими проникание струи в пластину. В четвертых, существенную роль играет обратная связь, которая осуществляется за счет акустических возмущений, распространяющихся против потока от точки проникания струи на вход струи в область низкого давления. При несимметричном соударении пластин, когда одна из пластин покоится, работает тот же механизм волнообразования. В этом случае происходит рост только тех возмущений, в которых знак градиента скорости совпадает со знаком градиента средней скорости при скольжении пластин.

Результаты расчетов методом МД качественно верно описывают основные закономерности волнообразования, наблюдаемые в экспериментах. Количественное сравнение показывает, что рассчитанная методом МД критическая скорость начала волнообразования в 4 раза, а длина волны в 2 раза превышают соответствующие значения, наблюдаемые в эксперименте. Это отличие связано с тем, что при имеющихся вычислительных ресурсах (в данных численных расчетах [5, 6] методом МД рассчитывалось движение 3 миллионов атомов) не удается добиться полного совпадения безразмерных чисел Рейнольдса в расчетах и эксперименте. Для совпадения расчетов и экспериментов нужно на порядок увеличивать размеры сталкивающихся пластин. Другой, более перспективный путь, состоит в объединении методов механики сплошной среды и МД в одном расчете.

Автор выражает благодарность С.К. Годунову и В.И. Мали за многочисленные дискуссии по данному вопросу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат М.: Наука, 1973.
2. Волнообразование при косых соударениях / Сост., пер. и ред. И.В. Яковлев, Г.Е. Кузьмин, В.В. Пай. Новосибирск: Изд-во Ин-та дискретной математики и информатики, 2000.
3. Годунов С.К., Киселев С.П., Куликов И.М., Мали В.И., Пешков И.М. Численное и экспериментальное моделирование образования волн при сварке взрывом / Сборник статей. Труды МИАН. Т. 281. М.: Наука. 2013 (в печати).
4. Wang X., Zheng Y., Lin H., Shu Z., Hu Y., Li W., Gao Y., Guo C. Numerical study of the mechanism of explosive/impact welding using Smoothed Particle Hydrodynamics method // Materials and Design. 2012. V. 35. P. 210 – 219.
5. Киселев С.П., Мали В.И. Численное и экспериментальное моделирования образования струи при высокоскоростном косом соударении металлических пластин. // ФГВ. 2012. Т. 48, № 2. С. 100 – 112.
6. Киселев С.П. Численное моделирование методом молекулярной динамики образования волн при косом соударении пластин. // ПМТФ. 2012. Т. 53, № 6. С. 121 – 133.