

УДК 621.9.02:519.6

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ SPG

*И.С. Болдырев*

Целью данной работы является оценка возможности использования SPG-метода (метода Галеркина для сглаженных частиц) для численного моделирования высокоскоростного ортогонального резания. Для верификации предложенной модели приводится сравнение формы стружки и величины составляющих силы резания при свободном ортогональном резании, полученные с помощью разработанной модели с аналогичными результатами, полученными автором с помощью метода SPH, а также экспериментальными данными.

Ключевые слова: SPG, метод конечных элементов, резание, бессеточные методы, SPH.

### **Введение**

Обработка металлов резанием является одним из распространенных в машиностроении способов обработки деталей машин. Разработка точных и надежных методов моделирования процесса резания в последние годы заметно расширилась, однако физические явления, происходящие при механической обработке, довольно сложные. Как правило, изучение свободного ортогонального резания производится с целью моделирования плоского деформированного состояния.

В последнее время было предложено большое количество численных моделей основанных на методе конечных элементов (МКЭ), для преодоления недостатков, присущих аналитическим методам. Большинство таких моделей используют МКЭ в Лагранжевой или произвольной Лагранжево-Эйлеровой формулировке [1]. Такой подход имеет несколько известных недостатков. Во-первых, значительное искажение сетки конечных элементов, во-вторых, трудности с моделированием процесса отделения стружки. Такие проблемы решаются разными методами, однако все они носят компромиссный характер и требуют допущений, искажающих действительную картину резания.

В то же время в последние годы появился ряд численных бессеточных методов, в которых описанных выше недостатков нет, но имеются и свои, в частности неадекватное моделирование поведения материала при испытании на растяжение [2–4]. Одним из них является SPG-метод, который сочетает в себе достоинства сеточных и бессеточных методов.

В связи с этим целью данной статьи является оценка возможности использования SPG-метода (метода Галеркина для сглаженных частиц) для численного моделирования высокоскоростного ортогонального резания.

### Описание модели и свойств материалов

Модель заготовки представляет собой параллелепипед размерами 10×4×3 мм. Резец – твердое недеформируемое тело со следующими свойствами: модуль упругости 110 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3, плотность 6850 кг/м<sup>3</sup>. Геометрические параметры режущей части: радиус при вершине 0,1 мм; передний угол 15°; задний угол 5°. Скорость резания 10 м/с, глубина резания 1 мм. Материал заготовки – алюминий 6061-Т6 имеет следующие свойства: плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>; модуль упругости 70 ГПа; предел текучести 260 МПа. Коэффициент кулоновского трения между заготовкой и резцом 0,3. Равномерная сетка конечных элементов была сгенерирована из восьмиузловых гексагональных элементов. Расчет велся неявным методом с адаптивным перестроением сетки.

Для моделирования свойств материала заготовки из сплава 6061-Т6 (зависимости между деформациями и напряжениями) использовалась модель Джонсона-Кука со следующими параметрами:  $A = 324,1$  МПа;  $B = 113,8$  МПа;  $N = 0,42$ ;  $C = 0,002$ ;  $M = 1,34$ , скорость деформации не учитывалась. Параметры для модели разрушения материала:  $D_1 = -0,77$ ;  $D_2 = 1,45$ ;  $D_3 = -0,47$ ;  $D_4 = 0$ ;  $D_5 = 1,6$  [1].

### Результаты расчета

Одним из недостатков бессеточных методов, в частности SPH, является неадекватное моделирование формы сливной стружки. Форма стружки, получающаяся в результате моделирования SPG-методом, представлена на рис. 1 и имеет вид, близкий к сливной. Для сравнения на рис. 2 представлена форма стружки и значения составляющих силы резания при численном моделировании свободного ортогонального резания методом SPH. Как видно, при этом значение радиальной составляющей  $P_y$  практически нулевое за счет удаления элементов, лежащих под задней поверхностью резца.

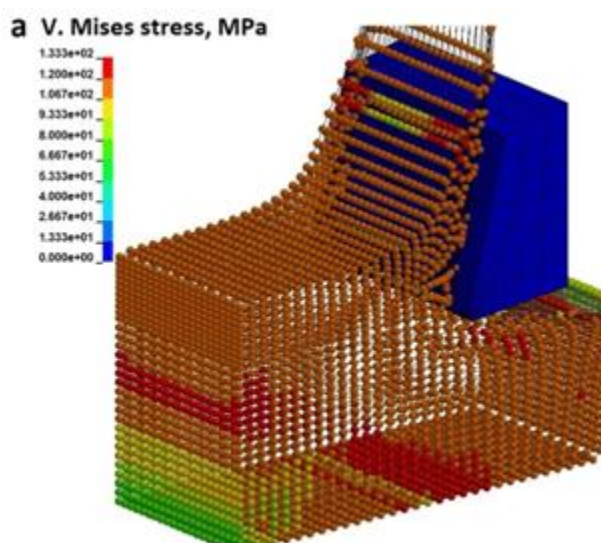


Рис. 1. Распределение напряжений и форма стружки в результате расчета методом SPG

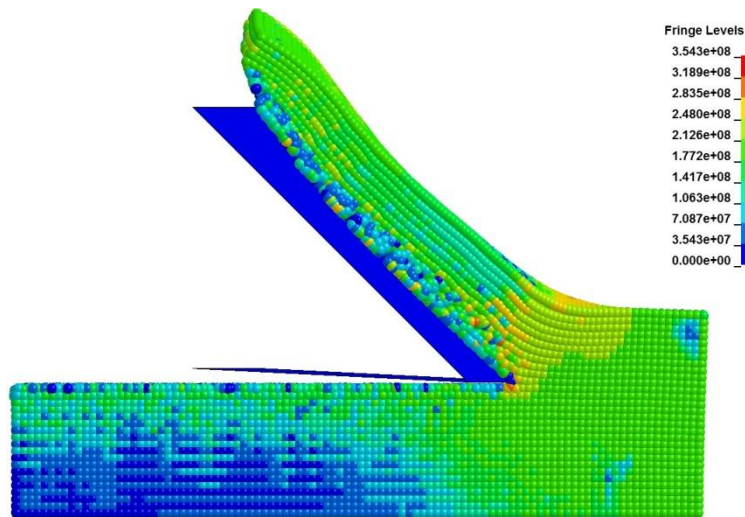


Рис. 2. Распределение напряжений и форма стружки в результате расчета методом SPH

Далее при расчете были получены значения составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$ , представленные на рис. 1а. Экспериментальные результаты для исследуемого материала следующие:  $P_z = 719$  Н;  $P_y = 223$  Н. Данные результаты получены из следующих условий: глубина резания 0,63 мм; ширина 3,3 мм; скорость резания 20 м/с; передний угол  $15^\circ$ . При моделировании EFG-методом значение радиальной составляющей  $P_y$  близко к экспериментальному.

#### Выводы и заключение

В данной работе представлены результаты численного моделирования свободного ортогонального резания SPG-методом. В результате расчета получены следующие результаты:

1. Форма стружки моделируется более адекватно, чем при использовании SPH-метода.
2. SPG-метод как метод, не требующий удаления элементов для имитации стружкоотделения, более точно предсказывает силу резания, в частности радиальную составляющую  $P_y$ , чем обычный метод конечных элементов в Лагранжевой постановке.

#### Библиографический список

1. Boldyrev I.S., Shchurov I.A., Nikonov A.V. Numerical simulation of the aluminum 6061-T6 cutting and the effect of the constitutive material model and failure criteria on cutting forces' prediction. *Procedia Engineering* 2. 2<sup>nd</sup> International conference on industrial engineering, ICIE 2016. – Pp. 866–870.
2. Shchurov I.A., Nikonov A.V., Boldyrev I.S. SPH-simulation of the fiber-reinforced composite workpiece cutting for the surface quality improvement. *Procedia Engineering* 2. 2<sup>nd</sup> International conference on industrial engineering, ICIE. – 2016. – Pp. 860–865.

3. Моделирование на основе SPH метода стружкообразования при резании заготовки из однонаправленного волокно-армированного композита / И.А. Щуров, А.В. Никонов, И.С. Болдырев, Д.В. Ардашев // СТИН. – 2016. – № 3. – С. 36–40.

4. Shchurov I.A., Nikonov A.V., Boldyrev I.S., Ardashev D.V. SPH modeling of chip formation in cutting unidirectional fiber-reinforced composite. Russian Engineering Research. – Т. 36. – № 10. – 2016. – Pp. 883–887.

[К содержанию](#)