

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИИ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В.А. Залого, Д.В. Криворучко, С.Н. Хвостик

Моделирование процесса резания методом конечных элементов является актуальной темой современных научных исследований в области металлообработки. За более, чем тридцатипятилетнюю историю развития этого направления научно-исследовательскими школами было разработано большое количество моделей различных рабочих процессов резания как в 2D, так и в 3D постановке, моделирующих образование как стальной стружки, так и элементной стружки, использующих универсальное (ABAQUS, DEFORM, LS-DYNA) и специальное (ThirdWave AdventEdge) коммерческое программное обеспечение, а также разработанный исследовательский программный код. Значительный вклад в развитие указанного научного направления внесли проф. Usui E., Strenkovski J.S., Shih A.J., Childs T.H.C., Altan T., Jawahir I.S., Klocke F, Остафьев В.А. и др. Достигнутые успехи в прогнозировании формы стружки, угла сдвига, силы и температуры резания все же не позволяют, как показано авторами, полностью доверять количественным результатам моделирования.

Используя традиционный подход к моделированию внедрения лезвия в заготовку в постановке плоской деформации авторы реализовали конечно-элементную модель процесса резания с помощью решателя LS-DYNA в Лагранжированной системе координат. Целью настоящей работы являлось изучение влияния различных факторов (как условий обработки, так и параметров решения) на ошибку прогнозирования показателей процесса резания. Известные исследования в этом направлении концентрируют внимание главным образом на физических аспектах возникающей погрешности, не останавливаясь на погрешностях, возникающих из-за несовершенства вычислительных процедур. И, несмотря на то, что алгоритмы в каждом из исследований разные, авторы данной работы считают, что могут быть сформулированы общие рекомендации.

Проведенный авторами данной статьи литературный обзор показал, что до настоящего времени не опубликовано информации про КЭ модель процесса резания, прогнозирующей одновременно все его показатели с ошибкой, не превосходящей 15%. Среди основных причин такой ситуации называют ошибки моделей обрабатываемого материала и трения на контактных поверхностях. По крайней мере один показатель в каждом из исследований имеет удовлетворительную погрешность прогнозирования, а все остальные могут иметь значительную ошибку. В большинстве работ наибольшая ошибка имеет место при прогнозировании радиальной проекции силы резания, а также длины контакта на передней поверхности. Если

ошибка прогнозирования главной проекции (P_z) силы резания не превышает 10%, то в этом же решении ошибка прогнозирования радиальной проекции (P_y) может быть 40% и более.

Разработанная конечно-элементная модель позволила провести анализ причин значительных ошибок прогнозирования проекции P_y . Следует обратить внимание на то, что ошибка прогнозирования этой проекции определяется главным образом ошибкой прогнозирования сил на задней поверхности. Коэффициент трения определяет силы, главным образом, на передней поверхности, с его помощью возможно управлять P_y , но пренебрежение контактом на задней поверхности значительно искажает ситуацию.

Установлено, что значительное влияние оказывают как исходные данные о геометрии режущего лезвия, так и параметры решателя. Очевидно для адекватного сравнения КЭ модели с экспериментом необходимо задать измеренные в конце проведения опытов ρ и h_z . Поскольку влияние ρ на показатели процесса начинается при $a/\rho < 4$, то при реализации моделирования методом конечных элементов с целью прогнозирования силы резания по умолчанию для твердых сплавов лучше всего использовать $\rho = 0.2-0.25a$, $h_z = 50-100 \text{ мкм}$.

Уменьшение влияния численной погрешности решения контактной задачи при приемлемом времени счета может быть достигнуто за счет выбора размера КЭ сетки заготовки в диапазоне $\rho/Le = 2-3$ и лезвия $\rho/Le > 2.5$.

За счет масштабирования массы заготовки шаг интегрирования может быть увеличен до $5\Delta t_0$.

Если нет специальной потребности в физическом критерии, то в качестве критерия разрушения при моделировании резания с положительными передними углами может быть использован геометрический критерий, выбирая величину шага перестроения КЭ сетки в соответствии с величиной максимальной пластической деформации перед режущей кромкой.

Учет перечисленных факторов может в сумме увеличить прогноз силы P_y на 30-40% и приблизить его к экспериментальным данным. Наблюдаемое уменьшение температуры с увеличением фаски износа связано с увеличением теплового потока в заготовку. Увеличение температуры при изменении γ от -7° до 5° связано с уменьшением сечения режущего лезвия, подверженного действию тепла.

Таким образом, проведенный анализ показал, что качество подготовки исходных данных для моделирования процесса резания методом конечных элементов определяет ошибку прогнозирования показателей процесса и, особенно, радиальной проекции силы резания. Дальнейшее развитие модели процесса резания должно быть направлено на совершенствование критериев разрушения, моделирующих отделение стружки от заготовки.