

избежать преждевременного вырывания работоспособных алмазных зерен и повысить ресурс работы инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабченко, А. И. К вопросу технологического обеспечения качества изделий из поликристаллических сверхтвердых материалов // Сверхтв. материалы. – 1979. – № 3. – С. – 50–53.
2. Грабченко, А. И. Динамика явлений, происходящих в зоне резания, и выходных показателей обработки при алмазном шлифовании сверхтвердых поликристаллов // Сверхтв. материалы. – 1980. – № 6. – С. – 55–60.
3. Грабченко, А. И., Алексеев, К. М. вопросы механики микроразрушения синтетических сверхтвердых поликристаллов при алмазном шлифовании // Сверхтв. материалы. – 1979. – № 2. – С. – 20–24.
4. Тищенко, В. Т., Коновалов, В. А., Чалый, В. Т., Когосов, Л. П. Антифрикционные свойства органических связок алмазных кругов // Синтетические алмазы. – 1971. – № 2. – С. – 26–28.
5. Лавриненко, В.И., Шепелев, А.А., Солод, В.Ю. Особенности фрикционного контакта связок кругов из СТМ и обрабатываемых материалов // Сверхтв. материалы. – 1995. – № 5. – С. – 26–29.

УДК 621.9.011:517.962.1

Довнар С.С.

МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРОНТА СДВИГА В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В ходе тонкого резания металла зону стружкообразования регулярно пересекают фронты сдвига [1, 2]. Фронт сдвига – это тонкая прослойка локализованного скольжения. Она проходит между режущей кромкой инструмента и свободной поверхностью обрабатываемого металла вдоль зоны стружкообразования. Предположительно, металл во фронте сдвига квазиожижается на краткое время и, поэтому, допускает легкое скольжение стружки относительно материала детали. В ходе резания регулярно чередуются стадия объемных пластических деформаций в зоне стружкообразования и стадия фронта сдвига [3, 4]. Отработавший фронт сдвига, по которому уже прошло локализованное скольжение, постепенно смещается в стружку. Именно фронты сдвига придают стружке характерный зазубренный рельеф на ее свободной поверхности.

Цель настоящей работы – смоделировать напряженно-деформированное состояние зоны резания после возникновения фронта сдвига. Моделирование выполнялось в помощь метода конечных элементов (МКЭ). Оно производилось в плоской, квазистатической постановке. Моделирование зоны резания до возникновения фронта сдвига (на стадии объемных пластических деформаций) описано, например, в работе [5].

Принципиальная схема зоны резания представлена на Рисунок 1. Резец А толкает своей передней поверхностью стружку В вправо. Стружка имеет возможность смещаться относительно обрабатываемой детали С по фронту сдвига FS. Ожидается движение стружки вправо и вверх.

В массиве стружки В отметим клинообразный район 3, который будем называть язычком стружки. В нем предполагается наиболее сложное напряженно-деформированное состояние. Язычок находится между закруглением режущей кромки и фронтом сдвига.

В модели учтены три контактные пары поверхностей. Во-первых, это контакт 1 между передней поверхностью резца и стружкой. Во-вторых, это контакт 2 между задней поверхностью резца и деталью. В-третьих, это контакт между верхней и нижней сторонами фронта сдвига FS.

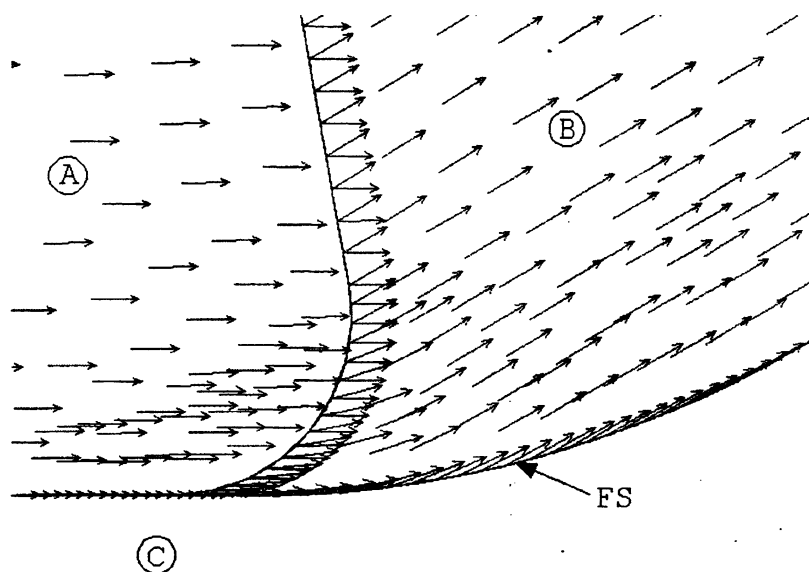


Рисунок 2 - Перемещения резца А и стружки В относительно обрабатываемой детали С (FS – фронт сдвига)

Экспериментальные данные о трении в контактах на стадии фронта сдвига отсутствуют. Поэтому было принято, что на всех трех контактах сила трения подчиняется закону Кулона. Коэффициент трения $\mu = 0,25$. В конечно-элементной модели предусмотрено отслеживание нормальной силы в контакте. При ее падении до нуля контакт автоматически размыкается.

Резец А смоделирован как упругое тело. Он обладает модулем упругости $E=2 \cdot 10^5$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu=0,3$. Передний угол резца равен 10° . Закругление режущей кромки имеет радиус $\rho=60$ мкм. На задней поверхности резца смоделирована небольшая площадка из риса 2. Именно на нее выходит фронт сдвига FS.

Толщина срезаемого слоя составляет $t = 200$ мкм. Фронт сдвига наклонен под углом 30° . В модели обрабатываемый материал по обеим сторонам фронта сдвига имеет одинаковые свойства. Он отличается от материала резца только возможностью пластического течения и упрочнения (предел текучести $\sigma_T = 750$ МПа; критерий текучести Губера-Мизеса; билинейный закон упрочнения при касательном модуле упрочнения $E_t = 2,5 \cdot 10^3$ МПа).

Моделируется свободное, ортогональное резание. Не учитываются динамические и температурные эффекты. Резец, стружка и деталь считаются находящимися в плоскодеформированном состоянии.

В ходе моделирования резцу последовательно, шагами давались небольшие перемещения вправо. На каждом шаге путем итераций искалось нелинейное решение для напряженно-деформированного состояния зоны резания. Нелинейности были обусловлены трением в контактах, пластическими деформациями и относительно большими геометрическими перемещениями. Удалось проследить перемещение резца на расстояние $s = 48$ мкм. При попытках дальнейшего перемещения итерационный процесс расходился, вероятно, из-за сильного искажения сетки конечных элементов.

Картина перемещений в зоне резания представлена в векторном виде на Рисунок 2. Резец А перемещается горизонтально вправо на 48 мкм. Он движется почти как жесткое тело. Обрабатываемая деталь С практически неподвижна. Стружка В зажата между передней поверхностью резца и фронтом сдвига FS. Поэтому стружка движется вправо - вверх. Её горизонтальное перемещение составляет 43,5 мкм (в центре стружки), а вертикальное перемещение – 27 мкм. Суммарное перемещение равно примерно 52 мкм. Это больше, чем перемещение резца ($s = 48$ мкм). Следовательно, скорость стружки после образования фронта сдвига оказывается большей, чем скорость инструмента. Полагаем, что это кинематический эффект. Стружка выталкивается из клина, образованного передней поверхностью резца и фронтом сдвига. Скорость выталкивания определяется углом клина.

Особенно быстро движется стружка в районе язычка. Здесь перемещение достигает 60 мкм. Можно говорить об эффекте выдергивания язычка стружки из локального клина между закруглением режущей кромки и левым концом фронта сдвига.

Геометрический результат ускоренного движения стружки вправо - вверх отражен на Рисунок 3. Видно, что внутри зоны резания образовались зазоры. Зазор 1 – это ожидаемый промежуток между задней поверхностью резца и вновь образованной поверхностью детали. Зазор 2 на стадии объемных пластических деформаций отсутствовал. Это раскрытый контакт между передней поверхностью резца и стружкой. Ширина зазора не превышает 2 мкм.

Зазор 3 достигает ширины 10 мкм. Это локально раскрывшийся фронт сдвига. Зазор возникает примерно под язычком стружки. Зазоры 2 и 3 обнаруживаются именно для стадии фронта сдвига. Они должны закрыться на следующей стадии объемной пластической деформации. Зазоры могут быть важны с точки зрения проникновения СОЖ в зону стружкообразования и последующего её влияния на процесс резания.

Зазоры 2 и 3 связаны с мощным локальным растяжением в районе язычка стружки. Картина максимального главного напряжения σ_1 отражена на Рисунок 3 цветом. В очаге растяжений S1 напряжения направлены примерно вертикально и достигают 1730 МПа.

Локальные перемещения в районе вершины резца иллюстрирует Рисунок 4. Здесь показаны конечно-элементные сетки после смещения инструмента на величину $s = 48$ мкм. Три пары стрелок 1, 2 и 3 исходно стояли напротив друг друга.

Разъединенная пара стрелок 1-1 отражает смещение резца относительно детали на 48 мкм. Стрелки в паре 3-3 разошлись на 52,6 мкм. Это результат ускоренного локализованного скольжения вдоль фронта сдвига. Стрелки 2-2 показывают смещение стружки вдоль передней поверхности резца. Величина смещения может доходить до 26 мкм. Описанные выше внутренние временные зазоры в зоне резания наблюдаются на Рисунке 4 между стрелками 2-2 и в районе 4.

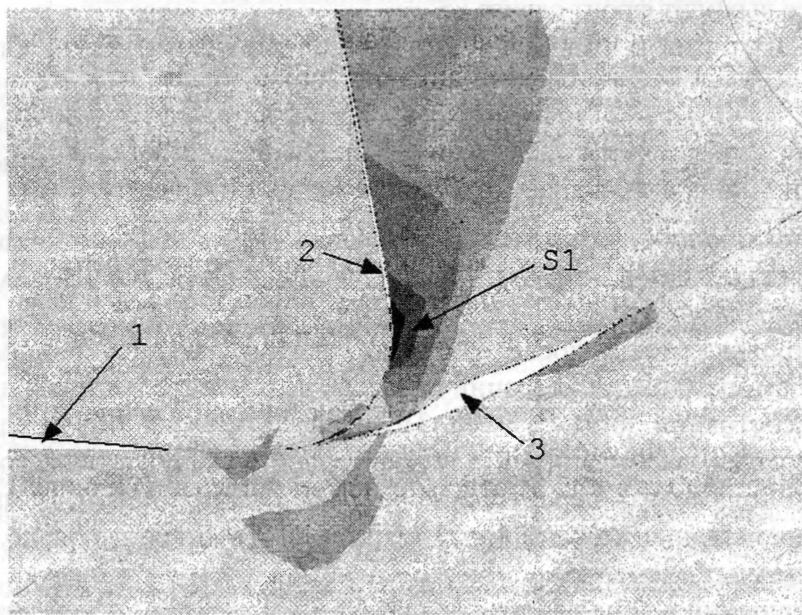


Рисунок 3 - Картина максимального главного напряжения σ_1 возле закругления режущей кромки резца (S1 – место концентрации растягивающих напряжений, 1 – зазор между задней поверхностью резца и деталью, 2 – вновь образованный зазор на передней поверхности резца, 3 – раскрытие фронта сдвига)

На Рисунке 5 показаны эпюры давлений на всех моделируемых контактах в зоне резания. Самые высокие давления (до 1680 МПа) наблюдаются на контакте между задней поверхностью резца и деталью (эпюра 1). Эпюра 2 отражает некоторое защемление конца язычка стружки между фронтом сдвига и закруглением режущей кромки.

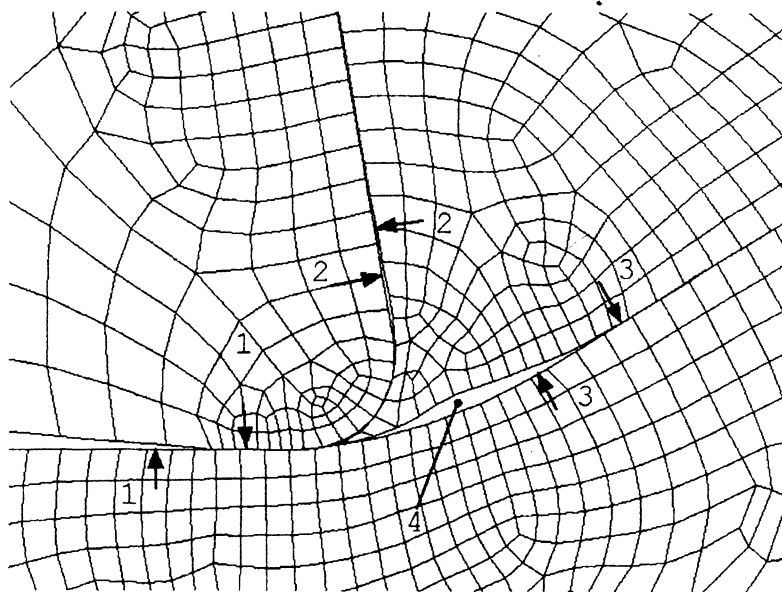


Рисунок 4 - Сетки конечных элементов после перемещения резца на расстояние $s = 48$ мкм и локализованных скольжений (исходно пары одноименных стрелок были соединены)

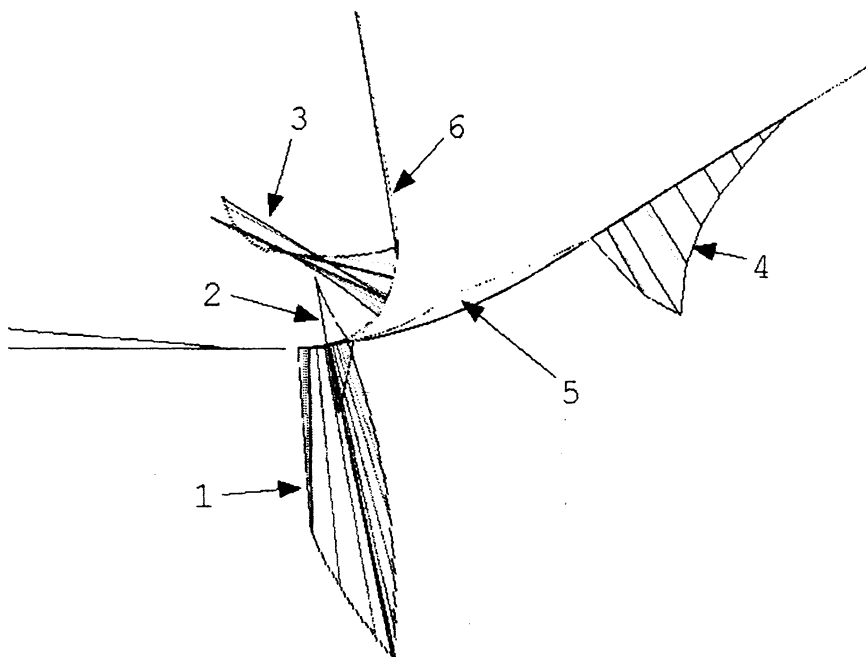


Рисунок 5 - Эпюры давлений на контактных поверхностях возле закругления режущей кромки инструмента

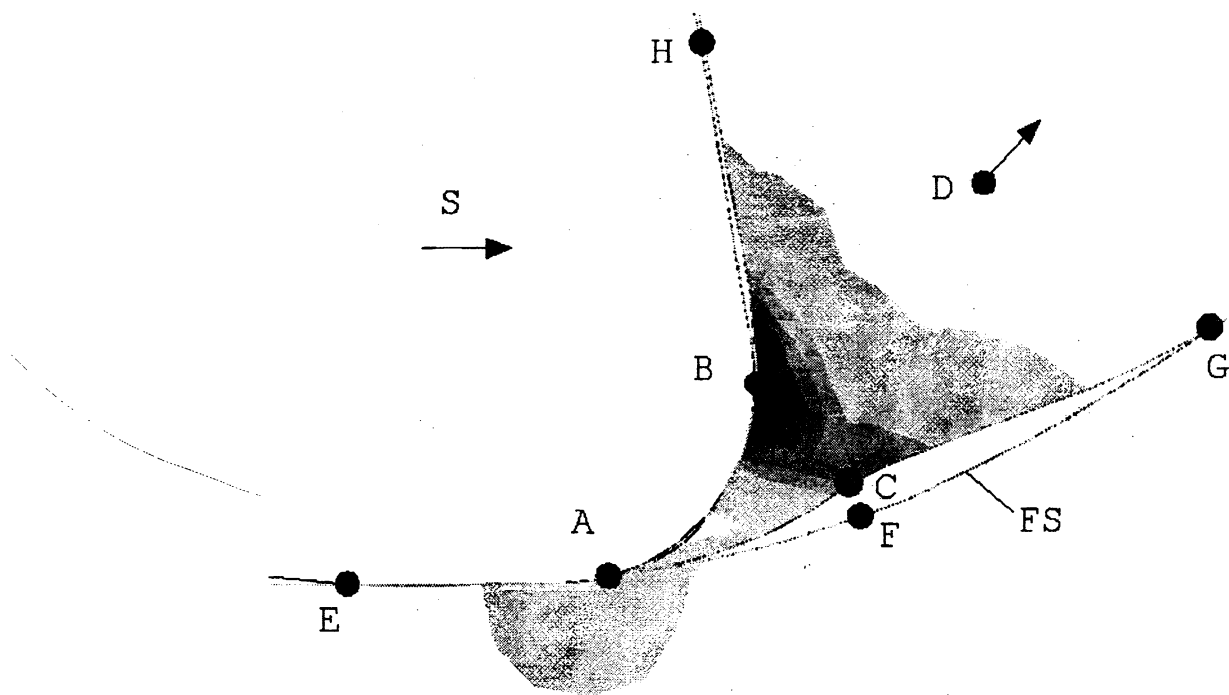


Рисунок 6 - Картина эквивалентной пластической деформации ϵ_i после перемещения резца на расстояние $s = 48$ мкм (FS – фронт сдвига)

Эпюра 3 отмечает место силового взаимодействия инструмента и стружки. Выше этой эпюры начинается зазор 6.

Эпюра 4 показывает давление вдоль фронта сдвига. Левее этой эпюры место раскрытия фронта сдвига 5.

На рисунке 6 показана картина эквивалентной пластической деформации ϵ_i обрабатываемого металла после перемещения резца $s = 48$ мкм. Цветами показаны участки, на которых деформации превышают 0,2%. В районе точки С величина ϵ_i составляет около 20%, а в точке В наблюдается максимум деформации, равный 44%. Точка В примерно соответствует очагу растяжений на рисунке 3.

Массив стружки под действием передней поверхности резца ВН смещается вправо – вверх, как показывает стрелка для точки D. Язычок ABC стремится за стружкой. Существует возможность его защемления возле точки А. Закругление режущей кромки АВ пытается прижать язычок к нижнему берегу фронта сдвига FS (линия EAFG).

Анализ данных моделирования показал, однако, что для рассматриваемых условий защемления не происходит. Язычок перемещается вправо - вверх достаточно быстро. Линии EAB и EAF смыкаются в процессе движения резца, не успевая захватить язычок.

Интенсивные деформации в полосе АВ отчасти связаны с поворотом язычка ABC против часовой стрелки при огибании им закругления режущей кромки.

Раскрытие фронта сдвига (ACG – AFG) дает место для таких маневров язычка стружки.

Выводы:

С помощью МКЭ-расчетов в упруго-пластической постановке проведено моделирование специфической стадии тонкого резания, на которой идет локализованное скольжение по фронту сдвига.

Определены очаги концентрации напряжений и деформаций в зоне резания для стадии фронта сдвига.

Выявлен эффект опережающего скольжения стружки по отношению к резцу. Особенно ярко этот эффект проявляется в выкальзывании язычка стружки вперед из-под закругления режущей кромки.

Для стадии фронта сдвига обнаружено временное образование зазоров в зоне резания. Создается зазор между передней поверхностью резца и стружкой (возле режущей кромки). Возникает раскрытие фронта сдвига (под язычком стружки). Образование зазоров может быть использовано для более сильного воздействия СОЖ на процесс тонкого резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блэк. О механизме больших пластических деформаций. Электронная микроскопия металлических стружек. Труды АОИМ. Конструирование и технология машиностроения. – 1971. - № 2. – С.132-152.
2. Блэк. Пластинчатая структура и фронты сдвига, возникающие в процессе большой пластической деформации. Труды АОИМ. Конструирование и технология машиностроения. – 1972. - № 2. – С.311-321.
3. С.С.Довнар. Трещинообразование при обработке металлов резанием. Машиностроение. - 1983. - №8. – С.33-36.
4. П.И.Ящерицын, С.С.Довнар. Формирование напряженного состояния в зоне резания металла при образовании фронта сдвига. Известия АН БССР. Сер. Физ.-техн. наук, 1985, №3.
6. С.С.Довнар. МКЭ-моделирование врезания резца с закругленной режущей кромкой // Машиностроение. – Мн., 2004. – Вып. 20. Т. 2. – С. 35 – 41.

УДК 621.9

Дьяков И.И., Белицкая А.И., Белицкий А.В.

ИЗНОС РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРИ ОРЕБРЕНИИ ПЛОСКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь.*

Широкое внедрение в промышленность безотходной технологии оребрения плоских алюминиевых поверхностей [1] с наименьшими затратами требует исследований, определяющих характер износа режущей кромки инструмента и его стойкости.

При традиционном процессе резания режущий инструмент подвергается различным механизмам изнашивания: адгезионному, абразивному, диффузному, усталостному.

Как известно, алюминиевые сплавы имеют достаточно высокую обрабатываемость. При точении, фрезеровании и других видах механической обработки алюминиевых сплавов преобладает износ по задней поверхности инструмента [2]. Однако, при нарезании оребрения методом тонких срезов металла, когда стружка не удаляется с детали, а имеет прочную связь с ней и превращается в ребро, возрастает время контакта передней поверхности инструмента со стружкой (ребром), а также увеличивается давление со стороны стружки на инструмент. Все это может привести в какой-то момент к преобладанию износа на передней поверхности инструмента.

Силы резания при обработке алюминиевых сплавов имеют тенденцию к слабому уменьшению с увеличением скорости.

Но при обработке технически чистого алюминия возникают высокие силы резания, особенно при низких скоростях резания. Рост их обуславливается большой площадкой контакта по передней поверхности инструмента, что приводит к небольшой величине угла силы сдвига, толстой стружке и большой силе резания и значительной мощности [2].