

*И.Б. ПЛАХОТНИКОВА, В.П. МАРШУБА*, канд. тех. наук,  
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

## **ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ПАКЕТОВ СТРУЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ**

It is offered the physical model for process of formation of chip scrap packages and fragments of chip buildup at processing of different materials depending on influencing the physical phenomena in the cutting area and tool zone. The offered physical model is destined to create the general mathematical model, which describes process of deep drilling in different materials. Usage of this physical model will allow determining necessary conditions for processing of deep holes with maximum productivity at processing the parts from different materials.

Запропонована фізична модель для процесу перетворення безперервного потоку стружки і фрагментів наростів в щільно упаковані пакети при обробці різних матеріалів в залежності від впливу фізичних явищ в зоні різання. Запропонована фізична модель призначається для створення загальної математичної моделі, що описує процес глибокого свердління в різних матеріалах. Використання цієї фізичної моделі дозволить визначення необхідних умов для обробки глибоких отворів з максимальною продуктивністю при обробці деталей з різних матеріалів.

**Введение.** Процесс превращения непрерывного потока стружки и фрагментов наростов в плотноупакованные пакеты в стружечных канавках режущего инструмента под влиянием физических явлений в зоне обработки при глубоком сверлении констатирован многими исследователями процесса резания. Более того, для решения этой проблемы предлагалось очень большое количество методов и кинематических схем обработки, форм заточек режущего инструмента и т.д., в частности:

- методами, направленными на устранение данного явления являются: последовательное сверление инструментом различного диаметра; деления толщины и ширины среза; одно- и многостороннего резания; управления процессом резания по жесткому циклу, вибрационного и адаптивного управления;
- кинематическими схемами, направленными на устранение данного явления, являются следующие схемы: деталь имеет вращательное движение, а режущий инструмент – одновременно возвратно-поступательное перемещение; деталь имеет вращательное движение, а режущий инструмент – одновременно возвратно-поступательное перемещение и вращательное движение (однонаправленное или разнонаправленное); деталь неподвижна, а режущий инструмент – одновременно возвратно-поступательное перемещение и вращательное движение; деталь имеет вращательное движение, а режущий инструмент – осциллирующее поступательное перемещение; деталь неподвижна, а режущий инструмент – осциллирующее поступательное перемещение и вращательное движение;

- формы заточек режущего инструмента, направленные на устранение данного явления: наличие на передней и задней поверхности инструмента элементов для дробления непрерывного потока стружки на отдельные части; заточка гибкого робототизированного комплекса (ГРК) под разными углами в плане, либо радиусная; наличие на одном зубе инструмента нескольких ГРК и т.д.

В целом до настоящего времени описанием данного явления ученые, исследующие процесс резания, не занимались, т.е. имелись случаи неоднократной констатации данного факта, предлагалось решение этой проблемы применительно к данному процессу обработки отдельных видов или групп материалов, а дальше процесс исследований прекращался. Следовательно, закономерности влияния физических явлений на процесс пакетирования в настоящее время исследованы не полностью, так как в технической литературе сведения о нем отрывочны и, как указывалось выше, не учитывают всю совокупность вопросов, способствующих появлению физического явления „пакетирование” стружки в стружечных канавках режущего инструмента при глубоком сверлении в различных материалах. Для более тщательного исследования процесса пакетирования стружки и фрагментов наростов необходимо создание физической модели данного явления. В настоящее время уже имеется физическая модель образования пакетов стружки и фрагментов наростов в стружечных канавках режущего инструмента при сверлении литейных алюминиевых сплавов стандартными спиральными сверлами, предложенная в [1].

Однако физической модели процесса образования пакетов стружки и фрагментов наростов при обработке различных материалов в свете общей теории резания, с учетом взаимодействий всех физических явлений и взаимоотношений между ними, до настоящего времени не было создано. Это несмотря на то, что данное физическое явление было исследовано большим количеством ученых на протяжении длительного отрезка времени, для различных материалов и при разных условиях проведения экспериментов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Первые исследования закономерностей пакетирования стружки в процессе резания материалов были проведены профессором Н.И. Резниковым. Он установил, что при обработке отверстий имеет место образование пакетов стружки в стружечных канавках сверл, без определения физики процесса.

В последних изданиях по данному вопросу, в частности в работе А.К. Синельщикова, Г.В. Филиппова [2] приведены отрывочные данные о физической природе процесса образования пакетов стружки в стружечных канавках сверл малого диаметра, выдвинута гипотеза о влиянии температуры на данный процесс. Однако в этой работе процесс образования стружки не увязывался в полной мере в совокупности с влиянием других физических явлений, сопровождающих процесс трения и теплообразования, хотя и предполагалась такая взаимосвязь. Данные по исследованию процесса пакетирования стружки и фрагментов наростов проводились только для процесса об-

работки отверстий в стали, тогда как аналогичный процесс обработки отверстий в различных материалах не рассматривался. Следовательно, при изучении вопроса пакетирования стружки и фрагментов наростов в стружечных канавках режущего инструмента необходимо рассмотреть вопрос влияния теплоты на данное физическое явление.

Исследованиями вопроса возникновения источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты при резании материалов, занимались видные ученые, среди которых Я.Г. Усачов, Н.И. Резников, А.М. Даниелян и др.

В изданиях, вышедших в последнее время, посвященных теплофизике процесса обработки металлов резанием, произошло разделение вопроса исследования. В частности, работа Резникова А.Н., Резникова Л.А. [3], посвящена общей теплофизике процессов резания, тогда как в работе Юджовского П.А. и др. [4] в первую очередь исследовался процесс теплообразования при неглубоком сверлении. В этих работах приведены данные по распределению потоков и стоков теплоты в детали, инструменте и стружке как при точении, так и при неглубоком сверлении. Однако в этих работах процесс возникновения источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты описан не полностью, так как не учитывает в полной мере взаимодействие всех физических явлений, присущих глубокому сверлению, которые не учитываются при неглубоком сверлении. В частности, не рассматривается вопрос вторичного перераспределения потоков теплоты в зоне обработки, который служит основным источником появления пакетов стружки в стружечных канавках сверл, и второго источника в данной зоне – механическую и адгезионную составляющую силы трения. Следовательно, для большего понимания закономерностей образования пакетов стружки и фрагментов наростов в стружечных канавках режущего инструмента необходимо рассмотреть вопрос влияния силы трения на физическое явление пакетирования стружки.

Исследованиями вопросов возникновения, протекания и взаимодействия физических и химических явлений процесса трения различных групп материалов занимались видные ученые, среди которых М.Ф. Полетика, Т.Н. Лолдзе, Г.В. Виноградов, И.В. Крагельский и др.

В отечественной технической литературе, посвященной рассматриваемому вопросу, вышедшей за последнее время, в частности в работе Г.П. Шпенькова [5], в которой исследованы законы взаимодействия физико-химических явлений процесса трения различных материалов, доказана взаимосвязь механической и адгезионной составляющих силы трения с различными физическими явлениями, сопровождающими процесс резания при образовании отдельного элемента стружки. Указано также, что влияние физико-химических явлений процесса трения неразрывно связано со взаимодействием других физических явлений, особенно трение связано с образованием определенного количества теплоты в зоне резания. Однако в данной работе не указано влияние механической и адгезионной составляющих силы трения на условия пакетирования стружки в зоне обработки и процессы, сопровождающие появления этих пакетов.

Следовательно, при изучении вопроса по определению закономерностей образования пакетов стружки и фрагментов наростов в стружечных канавках режущего инструмента необходимо рассматривать вопросы, которые учитывают эту взаимосвязь на основе рассмотренных выше физических явлений, в частности: влияние теплоты и силы трения на данное физическое явление.

Недостатки в проведенных исследованиях по указанным выше вопросам связаны в первую очередь не с компетентностью видных ученых и их последователей, которые проводили данные изыскания, а с тем, что данные закономерности влияния физических явлений лежат на стыке вопросов, рассмотренных в этих работах. Поэтому для большего понимания закономерностей влияния физических явлений друг на друга при пакетировании стружки, необходимо создание физической модели процесса пакетирования стружки в стружечных канавках сверл, которая учтет большую часть не рассматриваемых ранее вопросов и более точно отразит существующие взаимосвязи.

**Цель исследований.** Разработать комплексный метод определения закономерностей физики процесса образования пакетов стружки и фрагментов наростов в зоне обработки при глубоком сверлении в зависимости от взаимодействия физических явлений между собой (физическую модель). Взяв за основу разработанный комплексный метод и существующие закономерности взаимодействия физических явлений между собой, появляется возможность создания общей математической модели процесса резания при обработке глубоких отверстий.

**Изложение основного материала.** Как известно, процесс резания, особенно при глубоком сверлении, является многопараметричным, т.е. на данный процесс оказывает влияние большое количество как переменных, так и постоянных факторов. К этим факторам необходимо отнести следующие: физические и химические свойства инструментального и обрабатываемого материалов (твердость, вязкость, теплопроводность, скорость протекания химических реакций, адгезионная активность и т.д.); режимы резания; условия термодинамики и многие другие. Кроме этого, многопараметричность процесса резания связаны с не полностью определенными закономерностями влияния физических явлений друг на друга, которые возникают и протекают в это время. Необходимости в определении новых закономерностей взаимного влияния физических явлений процесса резания в настоящее время не существует, однако связать определенные ранее в одно целое необходимо.

Следовательно, в свете существующих представлений о процессе резания и пакетирования стружки в стружечных канавках сверл, создаваемая модель базируется на уже известных закономерностях взаимного влияния физических явлений друг на друга, поэтому возможно на данном этапе создание физической модели данного процесса.

Физическая модель процесса образования, транспортирования и пакетирования стружки (см. рис. 1) устанавливает взаимосвязь между физическими явлениями, возникающими и протекающими в процессе сверления различных материалов. Так, при срезании и деформации срезаемого слоя в зоне ре-

зания проявляют свои действия следующие физические явления (формирование контактных поверхностей; деформация срезаемого слоя; теплообразование; стружкообразование; износ режущего инструмента; образование поверхностного слоя и т.д.), которые приводят к появлению непрерывного потока стружки, разогреву данной зоны и передаче определенного количества теплоты в зону обработки.

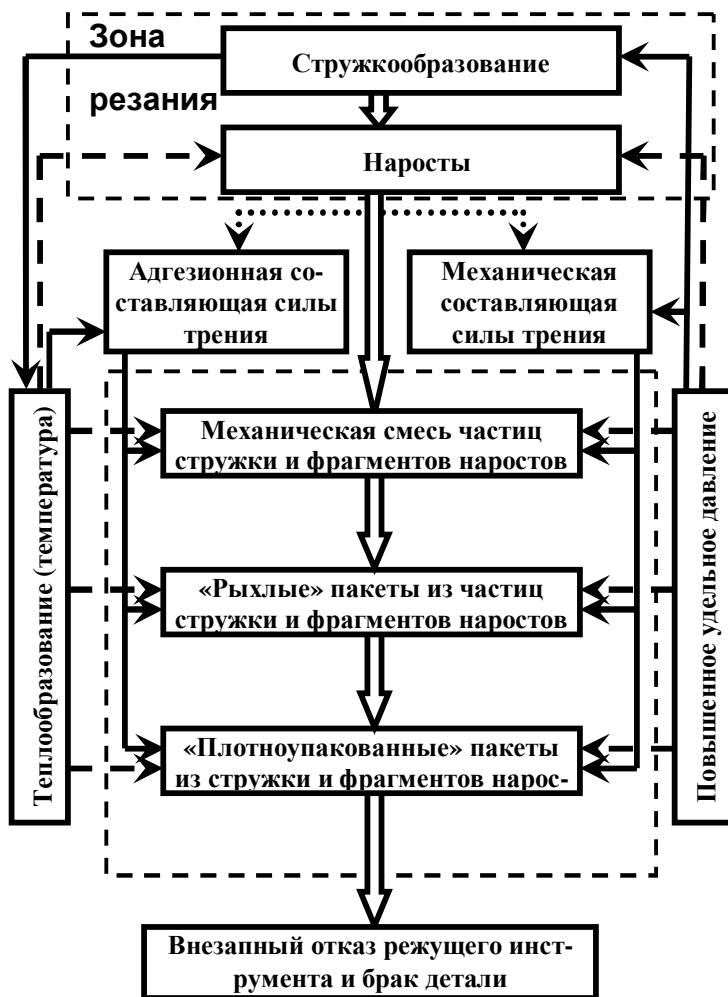


Рис. 1. Физическая модель процесса образования, транспортирования и пакетирования пакетов стружки в стружечных канавках сверл при глубоком сверлении

Теплота в этой зоне получена вследствие проявления следующих явлений: срез и деформация поверхностного слоя обрабатываемого материала; трение между инструментальным и обрабатываемым материалом и др. Появление теплоты в зоне резания инициирует проявление другого физического явления (адгезия), действие которого связано с повышенной температурой и наличием ювенальных поверхностей как на поверхности инструмента, так и на обрабатываемом материале. Данный процесс идет по возрастающей, передача теплоты в стружку, деталь и инструмент продолжительна во времени и зависит от продолжительности контакта между ними, что вызывает разогрев зоны резания до высоких температур (от 400 до 1100° в зависимости от марки инструментального материала и скорости резания). Отвод теплоты смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) из зоны резания нестабилен из-за того, что при температуре более 100° СОТС испаряется, превращаясь в паровоздушную смесь, что снижает эффективность отвода теплоты из зоны резания, поэтому происходит передача определенного количества теплоты в зону обработки (данный процесс также протекает по возрастающей).

Следовательно, передача в зону обработки определенного количества теплоты со стружкой приводит к вторичному перераспределению потоков и стоков теплоты по законам термодинамики из стружки в инструмент и деталь. Кроме этого, зона обработки получает еще дополнительно теплоту от действия силы трения между стружкой, инструментом и деталью. Следовательно, с ростом количества теплоты в данной зоне возникает дополнительно адгезионная составляющая силы трения, которая в совокупности с механической составляющей приводит к торможению непрерывного потока стружки в стружечных канавках режущего инструмента. Как следствие этого начинается процесс уплотнения хаотического потока частиц стружки и фрагментов наростов в упорядочную структуру, которую называют „рыхлыми” пакетами стружки. Дальнейшее действие силы трения и теплоты приводит к появлению уже „плотно упакованных” пакетов из частиц стружки и фрагментов наростов, которые окончательно тормозятся и закупоривают просвет стружечной канавки, тормозя вращение режущего инструмента. Это в свою очередь приводит к раскручиванию спирали режущего инструмента (для спиральных сверл), возникновению мгновенной подачи, которая в 2...4 раза больше по сравнению с номинальной. Как следствие этого, при достижении предельного значения осевой прочности режущего инструмента происходит внезапный отказ сверла, т. е его разрушение.

Для других конструкций сложно режущих инструментов (ружейных, эжекторных и др. конструкций сверл), не имеющих спиральных стружечных канавок, разрушение режущего инструмента основано на остановке вращения рабочей части по отношению к вращению хвостовика, что при достижении предельного значения прочности приводит к разрушению сверл.

Упрощенно физическая модель процесса образования, транспортирования и пакетирования стружки при глубоком сверлении материалов может быть представлена в следующем виде:

1. При механическом взаимодействии режущего клина сверла на обрабатываемый материал формируются номинальные и фактические площадки контакта, т.е. ювенальные поверхности. Их появление предопределяет увеличение силы трения за счет роста ее адгезионной составляющей и инициирует тепловыделение.

2. На прочность адгезионной связи между частицами стружки и фрагментов наростов влияет характерное распределение сил, действующих на задних и передних поверхностях режущего инструмента в условной плоскости сдвига. Различная скорость резания вдоль ГРК (от 0 возле центра сверла и макс на вершине инструмента), толщина среза, износ режущего инструмента, удельные контактные напряжения, температура в зоне резания и в зоне обработки в конечном итоге предопределяют вид образующейся стружки и ее дробление на отдельные частицы.

3. Возникающая в зоне резания теплота всегда повышает адгезионное взаимодействие между инструментальным и обрабатываемым материалом, между обрабатываемым материалом и частицами стружки с фрагментами наростов. При неблагоприятных условиях резания, когда высокая температура распространяется и на зону обработки, происходит интенсификация процесса адгезионного износа сверла и обработанной поверхности, как следствие этого происходит появление ювенальных площадок в местах физического контакта частиц стружки и фрагментов наростов с обрабатываемым и инструментальным материалом. Это в свою очередь приводит к процессу образования рыхлых и плотноупакованных пакетов стружки, что приводит к поломке режущего инструмента.

4. На прочность адгезионной связи между обрабатываемым и инструментальным материалом, частицами стружки с фрагментами наростов, влияет характерное распределение сил на передних поверхностях режущего инструмента в стружечных канавках, удельные контактные напряжения, температура в зоне обработки, что в свою очередь предопределяют вид образующегося пакета стружки в зависимости от глубины сверления и его удельной плотности.

5. Схема образования пакетов стружки и фрагментов наростов, а также их закупорка в стружечных канавках режущего инструмента при обработке материалов основана на механизме образования этих пакетов.

6. Появление плотноупакованных пакетов стружки приводит к появлению „мгновенной” подачи и к внезапному отказу режущего инструмента (для спиральных сверл), для других режущих инструментов это приводит к „скручиванию” хвостовиков сверл из-за остановки вращения рабочей части.

Механизм образования пакетов стружки в стружечных канавках, заложенный в данную физическую модель, основан на закономерностях изменения удельной плотности пакетов стружки  $\rho=f(L/d)$  в зависимости от глубины сверления, скорости его перемещения относительно поверхности режущего инструмента и действия силы трения в условиях повышенных температур.

Закономерность действия механизма образования пакетов стружки в стружечных канавках режущих инструментов подтверждаются данными исследований, проведенных авторами работы [1]. Исследованиями данного процесса установлено, что удельная плотность „рыхлого” пакета стружки при сверлении сверлом достигает 30...40% от плотности обрабатываемого материала при глубине расположения 3,5...4d, при этом скорость перемещения стружки в стружечных канавках достигала 3 мм/сек.

При глубине сверления 4,5...5d скорость перемещения стружки в стружечных канавках снижается до 0...0,5 мм/сек, при этом удельная плотность „плотно упакованного” пакета стружки составила 60...70% от плотности обрабатываемого материала.

При создании физической модели было установлено, что процесс пакетирования стружки зависит:

- от геометрических параметров режущей части сверла;
- от закономерностей изменения силы трения стружки о переднюю поверхность инструмента и обработанную поверхность отверстия;
- глубины сверления;
- адгезионного взаимодействия;
- температуры в зоне резания и зоне обработки.

**Выводы.** Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Создание физической модели закономерностей процесса образования пакетов стружки и фрагментов наростов в стружечных канавках не противоречит существующим в настоящее время представлениям о процессе резания.

2. Физическая модель наиболее полно представляет закономерности взаимосвязи между физическими явлениями, возникающими и протекающими в процессе резания материалов, и их взаимное влияние друг на друга.

3. Наглядность физической модели взаимосвязи физических явлений способствует более точному описанию процесса образования элемента стружки с точки зрения математической модели.

Полученные в статье результаты исследований будут использованы в дальнейшем при разработке математических моделей процесса резания.

**Список литературы:** 1. *Маршуба В.П., Дрожжин В.И.* Физическая модель процесса образования, транспортирования и пакетирования стружки при глубоком безвыходном сверлении алюминия. // Междунар. научн.-техн. сб. „Резание и инструмент в технологических системах”. – Харьков: ХГПУ, 2001. – Вып. №59. – С.65-69. 2. *Синельников А.К., Филиппов Г.В.* Повышение эффективности обработки спиральными сверлами. // Станки и инструмент, 1974. – №3. – С.35-37. 3. *Грановский Г.И., Грановский В.Г.* Резание металлов. – М.: Высш. школа, 1985. – 304 с. 4. *Юдковский П.А., Крючков И.К., Шевель А.П.* Повышение качества спиральных сверл. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1970. – 110 с. 5. *Штеньков Г.П.* Физикохимия трения. – Мн.: Университетское, 1991. – 397 с.

*Поступила в редколлегию 8.11.06*