

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

## **К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ**

The physical model of process of friction is offered at treatment of different materials depending on influencing of the physical phenomena in the zone of cutting and zone of treatment. The offered physical model is intended for making of general mathematical model, which describes the process of the deep boring in different materials. The utilizing of this physical model will allow determining the necessary terms of treatment of the deep openings with the burst performance at treatment of details from different materials.

Запропонована фізична модель процесу тертя при обробці різних матеріалів в залежності від впливу фізичних явищ в зоні різання і зоні обробки. Запропонована фізична модель призначається для створення загальної математичної моделі, що описує процес глибокого свердлення в різних матеріалах. Використання цієї фізичної моделі дозволить визначити необхідні умови обробки глибоких отворів з максимальною продуктивністю при обробці деталей з різних матеріалів.

**Введение.** Исследование процесса превращения поверхностного слоя заготовки в стружку, или так называемого процесса резания, под действием приложенной к режущему инструменту внешней силы, связано в первую очередь с пониманием сущности закономерностей взаимодействия физических явлений между собой. Для представления общей картины процесса резания и создания математической модели, которая опишет все взаимодействия данного процесса, необходимо исследование его неотъемлемых составляющих – физических явлений. Следовательно, протекание и взаимодействие этих явлений между собой характеризует закономерности процесса трения. Одной из составляющих процесса резания является физическое явление трения, которое сопровождается срез стружки и её транспортировку по стружечным канавкам сверла из зоны резания и зоны обработки.

До середины прошлого века всестороннее исследование процесса трения сдерживала многофакторность влияния трения на процесс резания. Это служило оправданием невозможности точного определения природы и трудностей формального описания взаимодействия процесса трения с другими физическими явлениями, протекающими одновременно с ним. Но вместе с тем каждый фактор в отдельности, т.е. составляющие процесса резания – механические, физические, химические, электромагнитные и другие явления – все порознь подчиняются вариационным принципам термодинамики необратимых процессов. Очевидно, что их комплексное течение не может не подчиняться тем же принципам, основанным на понятии энтропии или информации.

Следовательно, дальнейшее исследование процесса трения возможно только на основе проникновения на атомно-молекулярный (структурный) уровень, т.е. вскрытие физических и химических корней процессов трения и изнашивания, что может дать новое продвижение вперед на пути решения не только теоретических, но и прикладных проблем. Действительно, не зная физической и химической сути явления, нельзя пытаться осмысленно управлять ими. Этот подход был реализован в дальнейших исследованиях, однако это привело к другой крайности – появлению упрощенных моделей процесса трения.

В настоящее время по проблеме трения и изнашивания собран и обобщен большой экспериментальный материал, на основе которого сделаны важные теоретические выводы и предложения. Достаточно обратиться к трудам известных отечественных и зарубежных ученых, которые исследовали данную проблему, в частности к работам Крагельского И.В., Ахматова А.С., Боудена Ф.П. и Тейбора Д. и последователей их теорий. В основе этих работ лежат исследования двух вопросов процесса трения, механики и статистики контактных взаимодействий. Данные вопросы являются главными в исследовании эволюции форм трущихся поверхностей и микромеханизма протекающих в них диссипативных процессов.

Однако все вопросы, как отмечалось ранее, связанные с проблемами процесса трения, рассматривались только с очень узкой стороны. Фактически изучался сам процесс трения в специально созданных или искусственных условиях при внедрении индентора в исследуемый материал. Следовательно, при фактических исследованиях в расчет принимались либо взаимодействия в одной точке контакта, либо на небольшом участке со смазкой или без нее. В расчеты не принимались многогранность протекания процесса трения в совокупности с влиянием на данный процесс других физических явлений, сопровождающих процесс резания. Данные упрощения возможны при исследовании самого процесса трения, но при создании математической модели процесса резания, особенно при глубоком сверлении этих данных недостаточно. Это связано с тем, что естественный процесс трения при механической обработке материалов существенно отличается от рассматриваемого „искусственного” процесса. Так, в частности, в зоне резания процесс трения протекает двух видов: по задней поверхности инструмента преобладает сухое трение по ювенальным поверхностям, тогда как по передней поверхности преобладает жидкостное трение, так как при больших температурах и давлениях приконтактный слой стружки становится жидкотекучим. В зоне обработки, наоборот, преобладает трение со смазкой, хотя возможно проявление сухого трения на ограниченных участках. Следовательно, процесс трения, сопровождающий срезание и транспортирование стружки из зоны резания и зоны обработки, необходимо исследовать по крайней мере в трех видах: сухое трение со взаимодействием ювенальных поверхностей в условиях высоких контактных нагрузках без доступа кислорода; жидкостное трение в приконтактном слое;

трение со смазкой или без неё в условиях наличия кислорода и других химических веществ.

Отсюда следует, что при исследовании закономерностей процессов трения и процесса истирания, необходимых для создания общей математической модели процесса резания материалов, особенно при глубоком сверлении, необходимо учитывать не упрощенные формы проявления данного процесса, а обобщенную физическую модель проявления различных закономерностей влияния процесса трения. В настоящее время физическая модель, которая учитывает все особенности взаимодействия процесса трения на другие физические явления, отсутствует, хотя предпосылки к ее созданию уже существуют.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время существуют несколько подходов к исследованию процесса трения и процесса истирания (износа), это связано с многофакторностью данного процесса, в частности: макроскопические и микростатические закономерности разрушения тел; поверхностное разрушение трущихся поверхностей (изнашивание); теория сплошных сред и т.д.

Следовательно, учитывая различные направления исследования процесса трения и изнашивания, рассмотрим только некоторые из них применительно к нашим условиям обработки материалов при глубоком сверлении.

Работа Цеснека Л.С. [1] посвящена механическим и статическим (микроскопическим) аспектам проблемы истирания поверхностей твердых тел применительно к исследованию проблемы абразивного истирания. В ней приведены основные аспекты данной проблемы и пути управления данным процессом. Следовательно, в данной работе рассматривался процесс абразивного износа твердых тел с учетом взаимодействия ювенальных поверхностей, в условиях их непосредственного физического контакта. Однако при исследовании природы абразивного износа не учитывалось адгезионное изнашивание, что характерно для ювенальных поверхностей. Тогда как в работе Семёнова А.И. и др. [2], посвященной природе адгезионного взаимодействия при высоких температурах, приведена методика исследования данного процесса.

В работе Шульца В.В. [3] приведены результаты взаимосвязи естественного износа деталей машин и режущих инструментов в процессе их эксплуатации в зависимости от их формы в свете повышения их стойкости к истиранию. Приведены методики расчета основных взаимосвязей, общие принципы и аналогии в теории изнашивания необратимых процессов.

Отсюда следует, что необходимо объединить данные этих работ при учете влияния процесса трения на износ режущего инструмента в зависимости от его формы, условий механического и адгезионного взаимодействий.

В работе Литвинова В.Н. и др. [4] приведены результаты комплексных исследований поверхностей трения и смазочной среды в условиях граничного трения. Оценено влияние физико-химических и механохимических процессов на разрушение поверхностей при граничном трении. Продолжение этой темы приведено в работе Шпенькова Г.П. [5], в которой обобщены результаты исследования ряда поверхностных явлений, наблюдаемых при механической

обработке. В частности, рассмотрена природа взаимодействия металлов при трении в режимах избирательного переноса и водородного изнашивания. Следовательно, в этих работах, с одной стороны, исследовалась природа аномально низких коэффициентов трения и износа, с другой – катастрофический характер разрушения поверхностных слоев. Однако в свете создания математической модели процесса обработки металлов резанием знание физики и химии данных процессов недостаточно, так как рассмотренные явления являются одними из многих, протекающих в зоне резания и обработки.

Учет экспериментальных исследований, приведенных в работах [4, 5] необходим для определения влияния процесса трения на износ режущего инструмента и обрабатываемой детали в зоне обработки.

Отсюда делаем вывод, что при исследовании многогранности влияния процесса трения на процесс резания необходимо учитывать только факторы, которые влияют в первую очередь на протекание данного процесса. К этим факторам следует отнести следующие:

- физическую и химическую сущность процесса изнашивания;
- отдельно необходимо отметить адгезионное изнашивание, так как оно возникает в отличных от предыдущих условиях (только в области высоких температур и удельных давлений);
- явления жидкотекучести;
- взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов и т.д.

**Цель исследований.** Разработать комплексный метод определения закономерностей физики процесса трения в зоне резания и зоне обработки при глубоком сверлении материалов в зависимости от взаимодействия физических явлений между собой (физическую модель), с учетом его химической составляющей. Взяв за основу разработанную физическую модель процесса трения, создать возможность появления общей математической модели, описывающей процесс резания при обработке глубоких отверстий в зависимости от процессов трения.

**Изложение основного материала.** Создание общей физической модели процесса трения с учетом всех его особенностей необходимо для того, чтобы возникла возможность описания средствами математического анализа существующих законов взаимодействий физических явлений при резании различных материалов. Данная физическая модель процесса трения не может быть рассмотрена без взаимосвязи с другими физическими явлениями, сопровождающими процесс резания материалов, так как эти процессы взаимосвязаны между собой. Однако автор намеренно разбивает общую физическую модель процесса резания на отдельные элементы, в частности модель процесса трения (см. рисунок), с целью более простого ее математического описания из-за возникающих непреодолимых сложностей с описанием течения многофакторных физических явлений и их взаимосвязей и отсутствием в настоящее время общей теории процесса трения при резании различных материалов.

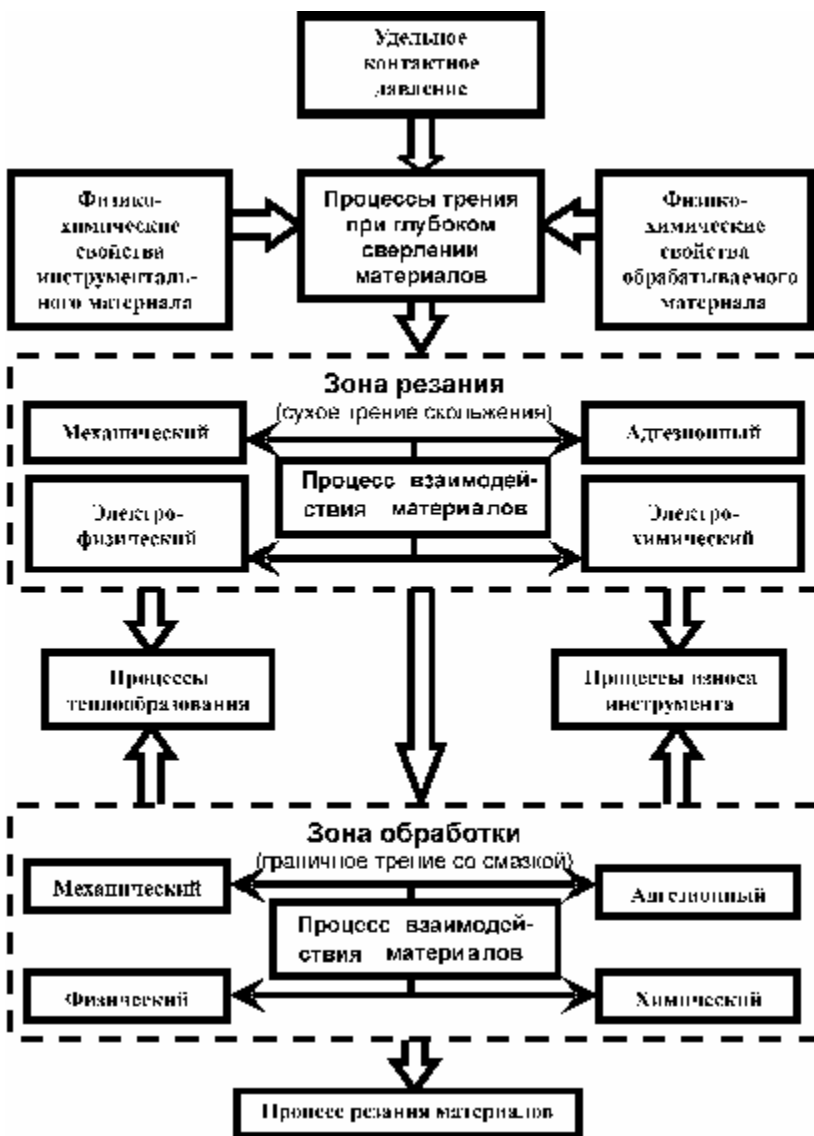


Рис. Физическая модель процесса трения при глубоком сверлении материалов: светлыми стрелками показано направление первичного взаимодействия; темными – вторичного; тонкими черными – внутреннее взаимодействие между физическими явлениями процесса трения

Влияние процесса трения на процесс резания материалов проявляется в нескольких случаях: в первую очередь это происходит из-за износа режущего

инструмента, что ведет к росту силы резания; во вторую – из-за роста количества теплоты как в зоне резания, так и в зоне обработки, что вызывает прирост силы трения из-за адгезионного взаимодействия; в третью – из-за необходимости преодоления самой силы трения требуется прикладывать дополнительную силу резания.

Исходя из рассмотренного выше анализа существующих литературных источников можно сделать вывод, что фактически процесс трения при обработке материалов резанием состоит из следующих основных взаимодействий: механического и адгезионного при истирании поверхности инструмента и заготовки; электрофизического и электрохимического; физического и химического и т.д. Суть этих явлений заключается в действии как в микромире на атомно-молекулярном уровне, так и макромире – на уровне небольших фрагментов обрабатываемого и инструментального материалов. Поэтому существует различие между зоной резания и зоной обработки, несмотря на схожесть протекающих там процессов.

Рассмотрим вначале зону резания. Процесс трения возникает там одновременно с внедрением в поверхность заготовки режущего инструмента вначале по задней поверхности сверла, затем по мере образования элементов стружки – на передней.

Процесс трения по задней поверхности инструмента в первую очередь характеризуется адгезионным взаимодействием, т.е. появлением и срезанием так называемых „мостиков схватывания” между точками контакта инструментального и обрабатываемого материала. Этот процесс распространяется по возрастающей экспоненте в зависимости от роста температуры в зоне резания и увеличения размеров площадок контакта ювенальных поверхностей по мере износа инструмента. Увеличение площадок контакта ювенальных поверхностей в первую очередь связано с износом режущего инструмента из-за механического истирания поверхностных слоев, во-вторых, со скоростью окислительно-восстановительных реакций на этих поверхностях.

На передней поверхности преобладает механическое взаимодействие из-за того, что рост количества теплоты в срезаемом элементе стружки расплавляет приконтактный ее слой до появления фазы жидкотекучести обрабатываемого материала. Следовательно, расплав обрабатываемого материала под действием высоких контактных давлений заполняет микронеровности в поверхности режущего инструмента, где и происходит их заклинивание, но так как процесс продолжается постоянно во времени, происходит срезание застрявших частиц обрабатываемого материала с образованием ювенальных поверхностей по срезаемым плоскостям. В дальнейшем это приводит к появлению адгезионного взаимодействия на срезаемых плоскостях в зависимости от адгезионной активности инструментального и обрабатываемого материалов, что в свою очередь вызывает вырывание поверхностных частиц инструмента а, следовательно, приводит к адгезионному истиранию и дестабилизации процесса резания. Величина износа режущего инструмента при сверлении преобладает больше на задней поверхности, чем на передней, поэтому в

ряде случаев при обработке отдельных химически не активных материалов адгезионным взаимодействием по передней поверхности можно пренебречь.

Влияние электрофизических и электрохимических взаимодействий в зоне резания связано, в первую очередь, с появлением электрического потенциала из-за разрушения кристаллической решетки обрабатываемого материала, с другой стороны, – из-за появления свободных радикалов (ионов) в результате протекания химических реакций в зоне резания под действием высоких температур и больших удельных контактных давлений. Все это в совокупности создает условия для повышенного износа режущего инструмента, которое выражается в вырывании отдельных атомов, молекул либо микрочастиц из поверхностных слоев инструментального и обрабатываемого материалов при создании электролитических пар и др.

Совокупность рассмотренных процессов по задней поверхности в зоне резания обуславливает наличие сухого трения скольжения одного материала по другому из-за того, что подвод смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) непосредственно на ювенальные поверхности режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в принципе невозможен.

Зона обработки характеризуется другими величинами, в частности, здесь преобладает механическое взаимодействие, т.е. процесс абразивного износа идет путем царапания частичками стружки и фрагментами наростов (которые значительно тверже обрабатываемого материала) обработанной поверхности заготовки и передней поверхности инструмента.

Адгезионное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материала значительно меньше, так как практически отсутствуют ювенальные поверхности либо они значительно меньше, чем в зоне резания. Кроме этого, в данной зоне значительно меньше влияние температуры из-за отвода значительного количества теплоты из этой зоны СОТС в деталь либо рассеивания в окружающую среду.

Однако здесь в полной мере проявляются физические и химические взаимодействия между обрабатываемым и инструментальным материалом. В зоне обработки влияние физического взаимодействия проявляется в виде изменения физических свойств удаляемого обрабатываемого материала, т.е. материал стружки и фрагменты наростов бывают значительно тверже, чем основной материал, при значительно меньшем удельном весе. Это связано с появлением твердых окисных пленок на поверхности стружки, наличием фрагментов наростов и др.

Химическое взаимодействие проявляется в меньшей степени, так как, с одной стороны, в этой зоне меньше ионов инструментального и обрабатываемого материалов, а с другой, – при наличии многокомпонентных СОТС инициируют совершенно другие химические процессы. В частности, из-за высокой температуры происходит разложение СОТС на отдельные фрагменты, что может привести к появлению так называемого гидродинамического либо химического износа. Эти износы очень небольшие по величине и очень

продолжительны во времени, поэтому их значениями в ряде случаев можно пренебречь, особенно при обработке химически неактивных материалов.

Однако разложение СОТС сопровождается появлением свободных радикалов, что в свою очередь инициирует водородный износ инструментального и обрабатываемого материалов. Данный вид износа в первую очередь влияет на качество обрабатываемой поверхности, что особенно важно при окончательной либо отделочной обработке поверхностей. При невысоких технических требованиях к обработанной поверхности влиянием водородного износа в зоне обработки можно пренебречь, так как он сравнительно мал и не оказывает существенного влияния на точность исполнительных размеров.

Гидродинамический износ связан с действием явления „кавитации” на поверхности инструмента, т.е. из-за распада СОТС образуются небольшие пузырьки с газом, отрыв которых от поверхности инструмента вызывает вырывание небольших по объему фрагментов инструментального материала.

Химический износ связан с процессом окисления как инструментального, так и обрабатываемого материала и срывом продуктов окисления с инструментальной и обрабатываемой поверхностей, что приводит к появлению каверн на этих поверхностях.

**Выводы.** В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Создание общей физической модели процесса трения в зоне резания и в зоне обработки при глубоком сверлении материалов в зависимости от взаимодействия физических явлений между собой не противоречит существующим представлениям о данном процессе.

2. Физическая модель процесса трения в настоящее время наиболее полно учитывает взаимное влияние между физическими явлениями, сопровождающими процесс резания.

3. Физическая модель наиболее полно представляет закономерности взаимосвязей между зоной резания и зоной обработки, а значит, более полно учитывает закономерности влияния физических явлений друг на друга.

4. Наглядность физической модели способствует более точному описанию процесса трения с точки зрения математической модели процесса резания материалов.

В дальнейшем полученные в статье результаты исследований будут использованы при разработке математических моделей процесса резания при глубоком сверлении.

**Список литературы:** 1. *Цеснек Л.С.* Механика и микрофизика истирания поверхностей. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с. 2. *Семенов А.И.* Методика и образцы для исследования адгезионного взаимодействия при высоких температурах. // *Поздняков В.В., Кацура А.А.* Сб. науч. тр. „Трение и изнашивание при высоких температурах”. – М.: Наука, 1973. – С.23-27. 3. *Шульц В.В.* Форма естественного износа деталей машин и инструмента. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1990. – 208 с. 4. *Литвинов В.Н.* Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. / *Михин Н.М., Мышкин Н.К.* – М.: Наука, 1979. – 185 с. 5. Шпенков Г. П. Физикохимия трения. – Мн.: Университетское, 1991. – 397 с.

*Поступила в редакцию 8.11.06*