

В. А. Марунич, канд. техн. наук, А. Е. Проволоцкий, д-р техн. наук,
В. В. Лелеко, А. Ю. Яриз, Днепропетровск, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Essentially new schemes of dimensional processing of viscoelastic polymeric materials are developed. The hypothesis about the mechanism of sliding milling of viscoelastic polymeric materials is formulated. The schematised physical model of sliding milling of polymeric materials is shown.

Наша страна вступила во всемирную торговую организацию, а это привело к жесткой конкурентной борьбе машиностроительных предприятий в условиях открытой рыночной экономики, что, несомненно, приводит к востребованности технологической науки. При этом открытие новых научных направлений, которые могут внести вклад в развитие технологии машиностроения как науки должно приветствоваться, поскольку это позволит машиностроителям создавать конкурентоспособные изделия.

Повышение конкурентоспособности изделий напрямую связано с улучшением свойств изделий, полученных в результате формирования поверхностного слоя при обработке резанием. Именно поверхностный слой детали определяет качественно новую совокупность свойств изделий (причина) и качественно новую меру полезности изделий (следствие).

В работе [1] проведен анализ развития технологии машиностроения как науки за последние 30 лет и сделан вывод, что в общем случае на качество поверхностного слоя при всех методах механической обработки (лезвийная, абразивная и отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием) оказывают влияние следующие факторы:

1. геометрия рабочей части инструмента и кинематика его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности;
2. колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности;
3. упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом;
4. шероховатость рабочей части инструмента;
5. вырывы частиц обрабатываемого материала.

Перечисленные факторы убедительно констатируют тот факт, что для создания прогрессивных технологий нового поколения необходимы новые нетрадиционные подходы, основанные на новых принципах реализации кинематики и механики процесса резания, что обеспечит повышение технологических возможностей метода обработки.

Основная научная проблема обработки материалов резанием заключается в том, чтобы энергию упругопластической деформации преобразовать в работу разрушения молекулярных или межатомных связей и таким образом максимально исключить диссипацию энергии, что позволит эффективно управлять процессом отделения срезаемого слоя. Известный метод традиционного фрезерования материалов не в полной мере решает поставленную задачу и технологический процесс включает дополнительные дорогостоящие операции финишной обработки.

Применение для обработки вязкоупругих полимерных материалов традиционных схем резания (рис. 1, 2) не обеспечивает даже элементарных требований по качеству обработанной поверхности. Дело в том, что традиционная схема предполагает отделение срезаемого слоя в результате создания зоны напряженного состояния, обусловленной упругопластической деформацией. При этом стружка отделяется по плоскостям действия наибольших напряжений.

Для вязкоупругих материалов такая схема резания приводит к отрыву срезаемого слоя по направлениям разрыва молекулярных связей на определенной стадии упругонапряженного состояния. Поверхностный слой при этом характеризуется неупорядоченными (хаотическими) вырывами и сколами по кромкам, определяющими весьма низкие показатели качества. Для решения упомянутой проблемы необходимо разработать новый метод фрезерования материалов, который бы в полной мере решал поставленную задачу.

В работе выдвигаются три новые схемы обработки вязкоупругих полимерных материалов [2,3,4], позволяющие управлять процессом отделения срезаемого слоя, с целью достижения основных технологических требований к обработанной поверхности, ее качества и точности.

Первая схема основана на реализации принципа торцового скользящего резания.

Вторая схема предполагает последовательное применение свободного резания в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Третья схема основана на реализации принципа винтового скользящего резания.

Первая схема (рис. 3) реализована за счет установления в режущем инструменте угла наклона режущей кромки λ более 70° . Режущая кромка в процессе обработки по этой схеме не только создает, как и в традиционной схеме, упругонапряженное состояние в зоне деформации, но и скользит по поверхности резания в направлении главного движения D_2 .

На рисунке обозначено:

1. нож торцовой фрезы;
 2. обрабатываемая поверхность;
 3. режущая кромка;
 3. заготовка из вязкоупругого полимерного материала;
- D_2 – главное движение резания; D_s – движение подачи;

P_s – след статической плоскости резания; P_v – след статической основной плоскости.

В отличие от обычно применяемых схем для обработки металлов и отдельных полимеров с λ до 30° , в рассматриваемой схеме скользящего торцового фрезерования при λ более 70° создаются новые качественные соотношения в кинематике, когда определяющим движением становится скольжение режущей кромки по поверхности резания. Это условие определило новый процесс обработки вязкоупругих полимерных материалов. Более того, вышеупомянутая величина угла наклона кромки λ резко изменяет направление перемещения срезаемой стружки по передней поверхности лезвия и задает его новое положение в пространстве.

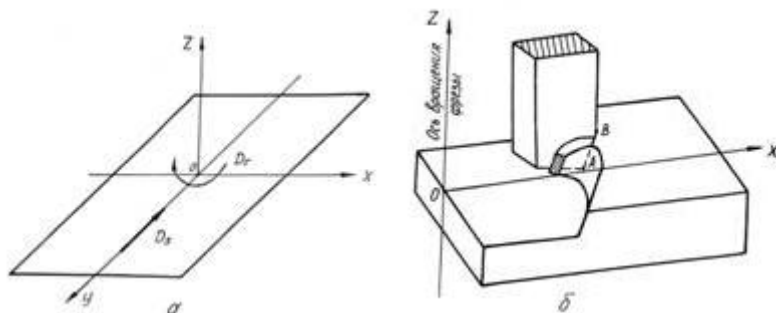


Рис. 1 – Схема традиционного торцового фрезерования

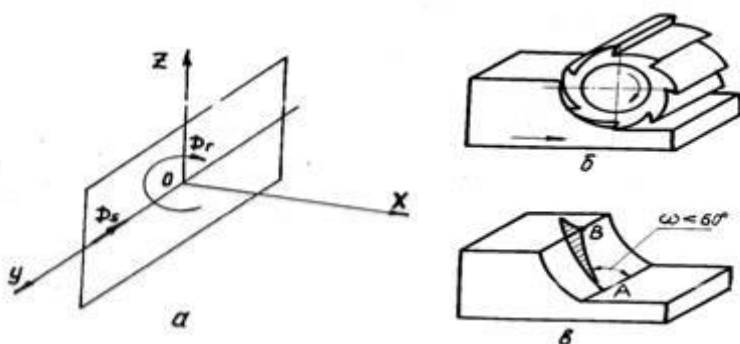


Рис. 2 – Схема традиционного цилиндрического фрезерования инструментом с винтовыми зубьями

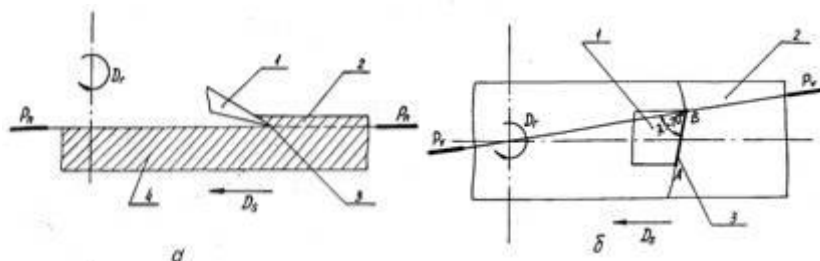


Рис. 3 – Схема скользящего торцового фрезерования

Таким образом, в сравнении с традиционной схемой, значительно изменяются величины кинематических переднего γ_k и заднего α_k углов, а также кинематического угла заострения β_k . Изменились размеры и форма сечения срезаемого слоя.

Вторую схему реализуют два автономно работающих ножей, выполняющих свободное резание (рис.4).

Один из ножей, названный подрезным 1 (рис. 4,а), непосредственно осуществляя скользящее резание, контактирует с обработанной поверхностью и решает при этом главную технологическую задачу обеспечения требований к качеству поверхностного слоя материала.

Второй нож, названный отрезным 2 (рис. 4,б), по существу выполняет вспомогательную функцию, связанную с отделением надрезанного слоя и в принципе может работать как по традиционной, так и по скользящей схеме резания.

Третья схема реализована за счет установления в режущем инструменте угла наклона винтового зуба более 70° (рис. 5). В отличие от традиционной схемы фрезерования инструментом с винтовыми зубьями (рис. 2), угол наклона которых не превышает 60° [5, 6] для металлов и некоторых полимеров, в предложенной схеме скользящего винтового фрезерования, при ω более 70° создаются, как и при выше рассмотренных схемах, новые качественные соотношения в кинематике и определяющим движением становится скольжение режущей кромки по поверхности резания.

Аналогично с первой схемой значительно изменились величины кинематических угловых параметров фрезы, размеры и форма сечения срезаемого слоя.

Механизм процесса резания материалов представляет собой сложный комплекс разнообразных явлений, затрагивающих многие области знаний. Из многообразия различных материалов наименее исследован процесс резания вязкоупругих полимерных материалов.

Вступая в контакт с обрабатываемым материалом, режущая кромка скользит по поверхности резания во время рабочего цикла. Следствием скольжения является трение по контактной поверхности. Это условие вызывает растягивающие напряжения в обрабатываемом материале. Начинается процесс зарождения и накопления

микродефектов типа волосных трещин в полимере непосредственно в местах контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом. При достижении критических растягивающих напряжений в зоне контакта участка режущей кромки с полимером образуется макротрещина, которая пересекает плоскость нормальную к направлению приложенного напряжения.

При этом режущая кромка внедряется в обрабатываемый материал и за счет фрикционных сил происходит отрыв его микрочастиц. Таким образом, осуществляется разрыв молекулярных связей полимерного материала непосредственно перед режущей кромкой в плоскости резания.

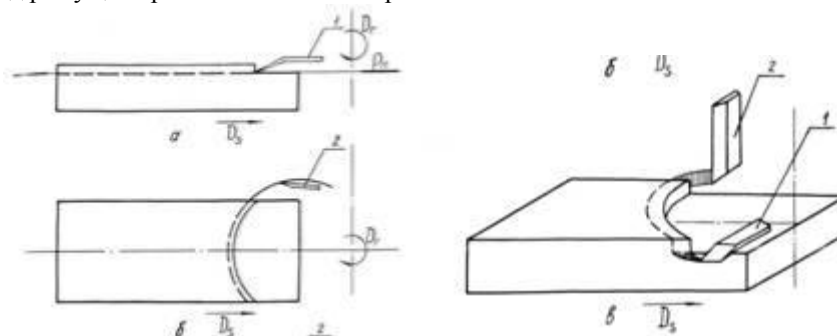


Рис. 4 – Схема скользящего фрезерования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

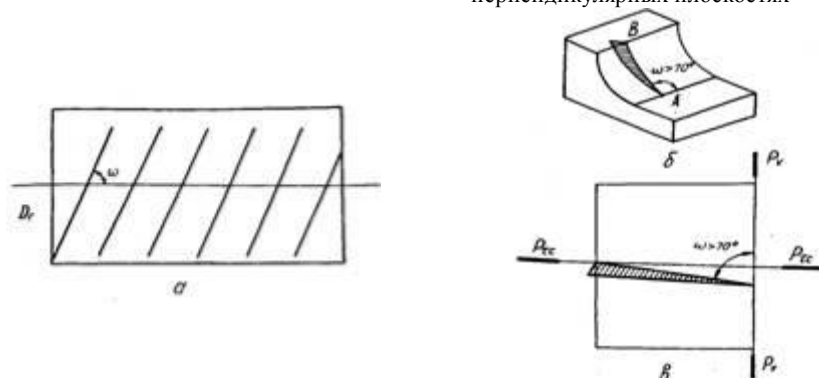


Рис. 5 – Схема скользящего цилиндрического фрезерования

В этой связи существенно уменьшается величина упругой деформации, так как концентрация критических напряжений происходит непосредственно перед режущей кромкой и локализуется в плоскости резания.

Вместе с тем, врезаясь в обрабатываемый материал, точки режущей кромки перемещаются одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что создает условие стеснения подвижности молекулярных цепей и также уменьшение величины упругой деформации.

Таким образом, происходит аналогичный процесс известного уменьшения подвижности молекулярных цепей, как это имеет место при низкой температуре (криогенное резание) или высокой скорости деформации (высокоскоростное резание). В первом случае при понижении температуры цепные молекулы теряют свою подвижность и наступает стеклование и кристаллизация. Во втором случае теряется подвижность молекул при высоких скоростях деформации из-за того, что цепные молекулы, в результате незначительного времени для их движения, не успевают перемещаться.

В результате очень значительного уменьшения упругой деформации, сопровождающей процесс скользящего фрезерования вязкоупругих полимерных материалов, снижается внутреннее трение, которое возникает когда молекулярные цепи меняют свои местоположения и их сегменты скользят относительно друг друга. При этом снижается диссипация энергии. Упругая энергия преобразовывается в работу разрыва молекулярных связей. В этой связи следует ожидать понижение температуры резания.

Совокупность изложенных явлений определяет хрупкий срез или надрез вязкоупругого полимерного материала, происходящий без пластического течения.

Далее, в результате движения подачи, режущая кромка внедряется вглубь материала. Надрезанная часть его (стружка) перемещается по передней поверхности лезвия инструмента и надлом ее должен произойти за режущей кромкой. В противном случае, в результате силы, действующей на передней поверхности инструмента, будет создана большая зона напряженного состояния, обусловленная упругопластической деформацией, как это имеет место при традиционной схеме обработки и произойдет отрыв срезаемого слоя. Это приведет к образованию на обработанной поверхности вырыва. Таким образом, к числу основных факторов, определяющими тип стружки, следует отнести величину переднего угла, а для первой схемы и глубину резания.

Стружка будет сходиться по передней поверхности под углом $90^\circ - \lambda$ для торцового фрезерования и $90^\circ - \omega$ для цилиндрического.

При скользящем фрезеровании вязкоупругих полимерных материалов напряжения в подрезцовом слое не достигают критических значений и на обработанной поверхности не образуются трещины. Этому способствует малая величина угла заострения и малый радиус округления режущей кромки.

Следует отметить, что при обработке вышеупомянутых материалов будет иметь место упругое восстановление обработанной поверхности, что приведет к увеличению трения по задней поверхности инструмента.

В связи с этим задний угол должен выбираться таким, чтобы температура резания не превышала установленных норм для обрабатываемого материала и инструмента.

Рассмотренная гипотеза механизма процесса скользящего фрезерования вязкоупругих полимерных материалов

требует дальнейшего уточнения по ряду факторов, в том числе:

1. по роли шероховатости режущей кромки в протекании процесса скользящего резания;
2. величины, распределения и характер напряжений в деформируемой зоне;
3. изменений физико-химических свойств обработанного материала.

На основании вышеизложенной гипотезы о механизме скользящего фрезерования провели схематизацию физической модели указанного процесса.

Структурной основой физической модели процесса скользящего фрезерования полимерного материала, схематизированной на рис. 6, является учет скольжения режущей кромки по поверхности резания, в результате которого упругая энергия преобразовывается в работу разрыва молекулярных связей.

Приведенная модель процесса скользящего фрезерования вязкоупругих полимерных материалов устанавливает главные связи и условную последовательность проявления следующих физических явлений:

1. Формирование контактной поверхности при скользящем взаимодействии режущей кромки с обрабатываемым материалом.
2. Механические растягивающие напряжения как результат скользящего силового воздействия
3. Малое внутреннее молекулярное трение и увеличенное внешнее трение по задней поверхности лезвия инструмента.
4. Теплообразование.
5. Стружкообразование, основанное на хрупком срезе.
6. Износ лезвия фрезы.
7. Образование поверхностного слоя.

Физическая модель процесса скользящего фрезерования полимерных материалов может быть упрощенно представлена следующим образом.

1. При скользящем воздействии лезвия инструмента на полимере из-за вязкоупругих свойств обрабатываемого материала, увеличенного рабочего участка лезвия инструмента и уменьшенного кинематического заднего угла формируются увеличенные фактические площадки контакта (I). Они предопределяют повышенное внешнее трение на задней поверхности лезвия инструмента и соответствующее тепловыделение (III). Однако температура резания невысокая вследствие малого внутреннего трения. В инструменте и полимере возникают циклические механические напряжения (II). В материале они приводят к разрыву химических связей.

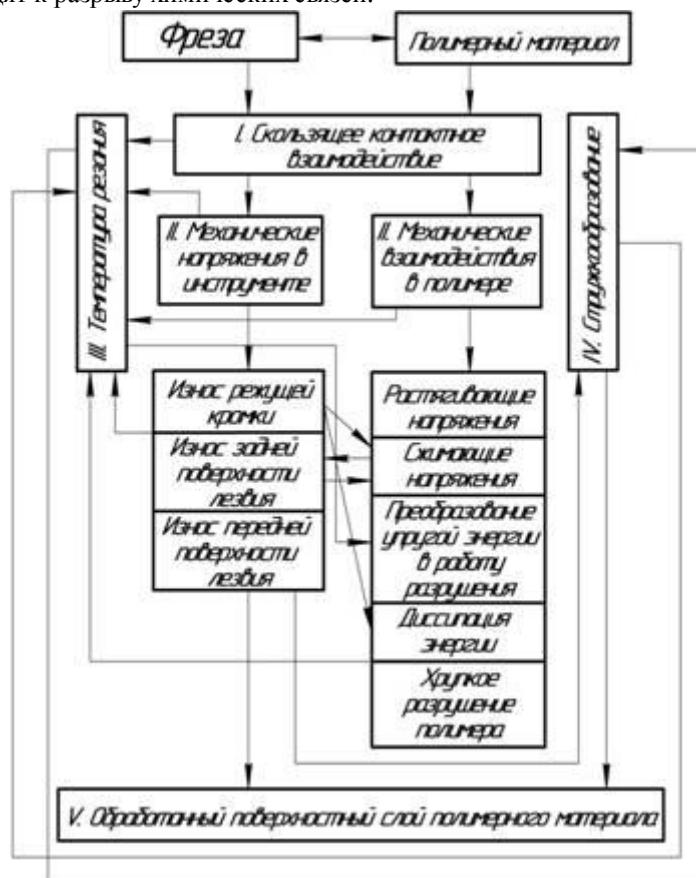


Рис. 6 – Схематизация физической модели процесса скользящего фрезерования полимерного материала

2. Перераспределение сил, характерное для скользящего фрезерования вязкоупругих полимерных материалов, действующих на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, соответствующий режим резания и толщина срезаемого слоя, а также новые геометрические параметры предопределили тип образующейся стружки (IV). Стружка непрерывная и требуется ее надлом или срезание.

3. Значительное уменьшение зоны упругой деформации и ее величины при скользящем фрезеровании определило формирование обработанного поверхностного слоя (V) без вырывов и сколов по кромкам.

Несмотря на весьма упрощенную физическую модель процесса скользящего фрезерования, приведенную выше, следует отметить сложность для изучения указанных явлений.

Многие авторы, в том числе работы [7] рекомендуют процесс резания, ввиду его сложности, изучать математическими методами планирования эксперимента, которые основаны на кибернетическом подходе к объекту исследования. Наиболее подходящей моделью при таком подходе является «черный ящик» (рис.7).

Площадки, входящие в объект, соответствуют возможным способам воздействия или факторам. Группа факторов, обозначенных буквами $X_1, X_2, \dots, X_K$, соответствуют управляемым факторам, при изменении которых непосредственно изучается объект исследования.

Факторы $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ и $W_1, W_2, \dots, W_i$ представляют группу неуправляемых факторов, существенно увеличивающих ошибку эксперимента или шумовое поле, на фоне которого выделяется полезный сигнал. Факторы $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ можно контролировать в процессе эксперимента, а факторы $W_1, W_2, \dots, W_i$ относятся к возмущающим неконтролируемым воздействиям на объект исследования. Стрелки $y_1, y_2, \dots, y_m$ выходящие из объекта, соответствуют параметрам оптимизации.

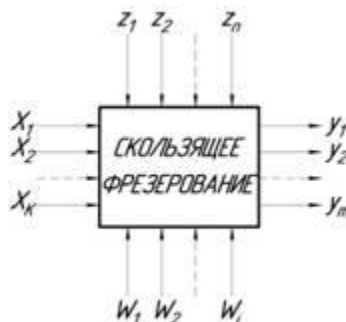


Рис. 7 – Схема кибернетической модели процесса скользящего фрезерования

Кибернетический подход в планировании эксперимента позволяет фиксировать выходы, то есть параметры оптимизации, при варьировании факторов на нескольких уровнях. При этом не обязательно заботиться о механизме явлений, протекающих в «ящике». Это дает возможность определить связь между входом и выходом объекта исследования и описать указанную связь вполне определенной математической моделью, не рассматривая характер протекающих процессов.

Исследование кинематики процесса резания для приведенного метода обработки изложено в работе [8], а экспериментальная отработка рациональных геометрических параметров и режима резания в работе [9].

Выводы:

1. Разработаны принципиально новые схемы размерной обработки вязкоупругих полимерных материалов, основанные на использовании принципа скользящего резания, обеспечивающие полное выполнение основных технологических требований к качеству и точности обработанной поверхности.
2. Показано, что основой обеспечения принципа скольжения первой и второй схем, предназначенных для торцового фрезерования указанных материалов, является установление угла наклона режущей кромки $\lambda > 70^\circ$, а для третьей схемы, предназначенной для цилиндрического фрезерования, угла наклона винтового зуба $\omega > 70^\circ$.
3. Установлено, что резание должно быть свободным, а особенностью скользящего фрезерования является существенно большее различие между инструментальными угловыми параметрами и кинематическими по сравнению с традиционным фрезерованием.
4. Сформулирована гипотеза о механизме скользящего фрезерования вязкоупругих полимерных материалов и разработаны основные закономерности формирования параметров элементов срезаемого слоя и обработанного поверхностного слоя.
5. Показана схематизированная физическая модель скользящего фрезерования полимерных материалов, которая устанавливает главнейшие связи и последовательность процессов и явлений, сопровождающих обработку резанием вязкоупругих полимерных материалов.

Список литературы: 1. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684с. 2. Патент Украины 19905. Спосіб обробки матеріалів різанням/ В.О. Маруніч. Бюл.№1-2007. 3. Патент России 2031790. Способ обработки материалов резанием/ В.А. Маруніч. Бюл.№9.-1995. 4. А.С.1219387. Инструмент для механической обработки материалов/ В.Д. Дручков, В.А. Маруніч, Г.Б. Горшков. Бюл.№11-1986. 5. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т.- Т.2. под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение – 1, 2001. 6. Тихомиров Р.А., Николаев В.И. Механическая обработка пластмасс. – Л.: Машиностроение, 1975. 7. Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Т. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – Киев: Техника, 1977. 8. Маруніч В.А. Исследование кинематики обработки резанием теплоизоляционных пенополиуретановых покрытий сферических изделий. Теория и практика металлургии. – 2007. №6. – С.53-58. 9. Маруніч В.А. Экспериментальное установление эффективных условий фрезерования теплоизоляционных пенополиуретановых материалов. Системные технологии. – 2007. - №5(52). – С.104-111.

Поступила в редакцию 15.06.2009