

Технологический процесс – энергетический преобразователь

07, июль 2012

DOI: 10.7463/0712.0414854

Ярославцев В. М.

УДК 621.7.01

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

yaroslavtsev.v.m@gmail.com

Решение выдвинутых сегодня задач модернизации в разных сферах развития общества напрямую связано с овладением современными знаниями и их дальнейшим развитием и, в первую очередь, - это знания технологические. Технология является одной из базовых наук, ее состояние во многом определяет качество жизни человека, его выживаемость как биологического объекта, а также сохранность среды его обитания. Знания об инновационных технологиях в значительной степени могут способствовать как созданию самих высокотехнологичных разработок, так и их коммерциализации, способствуя тем самым росту конкурентоспособности российских товаров на мировом рынке.

Если ранее решение проблемы обеспечения качества изделий, повышения производительности обработки, увеличения периода стойкости рабочего инструмента, обновления объектов «... потребовало расчленения технологии машиностроения в соответствии со структурой создаваемого машиностроительного производства» [1]..., то в настоящее время для разработки высокоэффективных технологических процессов «... технология машиностроения в целом требует научного обобщения. Это трудно, но не невозможно!» [1].

Анализ и обобщение научных и практических знаний, накопленных в технологиях разных видов производств и на данный момент разобщенных между собой, позволили автору предложить ряд положений [2], которые могут лечь в основу интеграции разрозненных научных представлений об основных закономерностях формообразования и стать тем самым одним из направлений формирования единой науки технологии.

Рассмотрение с энергетической точки зрения всех известных технологических методов обработки (литье, обработка давлением, сварка, металлургия, порошковая металлургия, обработка резанием, электрофизические и электрохимические методы обработки, осаждение из газовой фазы, методы плазменного напыления, термическая обработка и др.) показывает их общность и единство по следующим позициям:

1. Любой технологический метод (способ, вид) обработки предназначен для решения задач целенаправленного преобразования (изменения) свойств исходной заготовки для

получения готового изделия с гарантированными, заранее заданными характеристиками и качеством.

2. Любое перманентное изменение состояния и свойств материала в процессе обработки достигается за счет воздействия одного или нескольких видов энергии.

3. Все технологические методы (способы, виды) обработки имеют на входе **единый физический инструмент – это энергия** (энергии), приложенная извне.

4. Для реализации каждого конкретного метода или способа необходимо доставить в зону обработки требуемое количество энергии определенного вида и структуры.

5. Любой технологический процесс есть многоцелевой энергетический преобразователь, где преобразование, распределение и транспортировка энергии входа в энергии, обеспечивающие выходные параметры процесса обработки, осуществляются за счет внутренних процессов и явлений.

6. Интенсивность протекания и преобладание тех или иных внутренних процессов определяется и регулируется условиями обработки.

7. Внутренние процессы и явления инициируются с момента первого контакта заготовки с рабочим (технологическим) инструментом.

8. Физико-химический механизм преобразования свойств обрабатываемого материала в любом методе обработки включает две стадии: разрушение старых атомарных и молекулярных связей и образование новых.

9. Показатели качества изделия формируется как на стадии разрушения атомно-молекулярных связей материала заготовки, так и на стадии их восстановления (реновации).

10. Решение задач, связанных с изготовлением бездефектных изделий, есть ничто иное как правильная трансформация и количественное распределение подводимой извне энергии, а также обеспечение правильного режима стока энергии.

С энергетической точки зрения **изменение в процессе обработки** физико-механических свойств материала – это есть отражение внутренней реакции материала на воздействие внешней энергии, которое нарушает сложившееся для конкретных условий его равновесное состояние. Сопrotивление изменению состояния осуществляется путем поглощения и диссипации внешней энергии через возбуждение совокупности присущих данному материалу (или веществу) внутренних процессов и явлений. В свою очередь эти внутренние процессы в условиях продолжающегося внешнего энергетического воздействия являются средой формирования требуемых свойств материала.

В условиях воздействия технологических энергий нарушение равновесного состояния должно приводить к разрыву молекулярных и атомарных связей, а затем – к образованию новых связей, удовлетворяющих заданным требованиям качества к изделию. Реакция материала на технологические энергетические воздействия определяет его технологические свойства, к которым относят обрабатываемость литьем, сваркой, давлением, резанием и другие. В соответствии с этим, сумма показателей, определяющих технологические свойства материалов, должна, с одной стороны, отражать склонность материала к разрушению имеющихся (исходных) атомно-молекулярных связей, с другой – его способность восстанавливать (реновировать) атомарные связи и образовывать в условиях действия

совокупности внутренних и внешних источников энергии новые устойчивые структуры, обеспечивающие служебные свойства получаемого изделия.

Из этого следует, что технологические свойства не являются константой обрабатываемого материала. Они зависят от состояния материала, рабочей среды и режимных параметров энергетического воздействия на материал, определение оптимальных значений которых для получения необходимых результирующих показателей обработки и является главной задачей технологической теории и практики.

Известные в настоящее время технологические методы или способы обработки, как правило, не обеспечивают всего комплекса энергетических составляющих, необходимых для выполнения всех требований к готовому изделию. Иными словами, нам сейчас неизвестно, как могут быть совмещены во времени и пространстве различные энергетические воздействия на материал разных технологических методов и способов обработки с тем, чтобы в результате однократного вложения комплекса энергий с разными амплитудно-частотными характеристиками получить все необходимые показатели, удовлетворить всем требованиям чертежа детали. Поэтому технологические процессы обычно строятся на принципе постадийности преобразования свойств материала [3], отдельные этапы которого определяются технологическим маршрутом изготовления детали. Отсюда следует, что технологический процесс, содержащий различные технологические методы, операции, переходы или проходы – это по существу **единый комбинированный метод обработки**, использующий в определенной последовательности дозированные энергетические воздействия, разнесенные во времени.

Технологический процесс представляет собой чрезвычайно сложный физико-химический энергетический преобразователь реверсивного типа. Например, при обработке резанием свойства и качество изделия обеспечиваются в результате энергетического взаимодействия объекта (заготовки), из которого получают желаемый продукт, объекта (инструмента), который находится в непосредственном контакте с заготовкой, а также рабочей среды. В результате такого взаимодействия имеют место объект (изделие) с новыми свойствами, объект (инструмент) в измененном состоянии и прореагировавшие с изделием и инструментом продукты рабочей среды (через стохастические и эволюционные процессы), которые прошли обработку будучи третьим телом между ними.

Все изменения в объектах инициируются совокупным проявлением разного рода процессов и явлений, характерных для рассматриваемой технологии, о наличии которых можно с уверенностью судить на основе количественных данных технологического процесса. Таким образом, преобразование внешней энергии, приложенной к инструменту или заготовке, или инструменту и заготовке вместе, в результирующие показатели качества изделия происходит через внутренние процессы и явления, которые являются результатом совместного обмена энергиями заготовки, инструмента и окружающей среды. В свою очередь внутренние процессы и явления сами являются источниками разных видов энергий. Выделенная ими внутренняя энергия, как результат преобразования приложенной извне энергии и разложения ее на отдельные составляющие, идет на решение определенных технологических задач: разделение единого на части, соединение частей в единое целое, придание требуемой формы, обеспечение заданных показателей качества. Обычно для

выполнения технологической задачи в целом используется совокупность ряда методов, способов и средств, которые последовательно с разной интенсивностью энергетически воздействуют на обрабатываемый объект, поэтапно приближая получаемый результат обработки к желаемому.

В соответствии с этим, решенная технологическая задача является результатом преобразования энергий, присущих разным методам обработки. Эти преобразования происходят на макро-, микро- и нано- уровнях. На разных уровнях преобразование внешней энергии проявляется в виде полученных, например, точности размеров и формы, шероховатости поверхности, параметров состояния поверхностного слоя и других показателей обработки, которые формируются в результате сложных, многообразных и трудноуправляемых внутренних процессов и явлений. К таким процессам относятся: разные деформационные процессы, термодинамические, тепловые, окислительные, когезионные, адгезионные, диффузионные, разрыв атомарных и междендритных связей, разрушение структуры и многие другие. К основным явлениям можно отнести взрыв, последствие, разупрочнение, упрочнение, потерю устойчивости, сверхтекучесть и др. Эти процессы и явления в тех или иных сочетаниях присутствуют в каждом реализуемом методе и способе обработки.

Наличие и интенсивность протекания внутренних процессов и явлений определяется начальными условиями обработки. К начальным условиям обработки относятся: приложенная извне энергия или энергии; заготовка, ее характеристики и свойства; технологическая среда; оборудование и оснастка, их состояние на текущий момент времени; режим обработки и схема приложения внешней энергии, которая определяется схемой обработки. Задачи считаются решенными, если удовлетворены все требования чертежа детали, а также дополнительные требования по экономическим показателям, например, периоду стойкости инструмента, производительности труда, себестоимости с учетом экологии и личной безопасности оператора.

Таким образом, на входе любого технологического процесса мы имеем многопараметрическую неопределенную задачу. Неопределенна она потому, что на сегодняшний день нет общей науки технологии, которая позволила бы быстро и обоснованно выбрать одно наиболее рациональное решение для заданных начальных условий.

Наука о технологиях сварки, литья, обработки давлением, резания и других технологических методах изучает процессы и явления, которыми сопровождается тот или иной метод обработки, и устанавливает эмпирические или физические связи между начальными условиями обработки или их отдельными элементами и характеристиками процессов, вызванных взаимодействием инструмента и заготовки. Это дает возможность уже на стадии проектирования технологического процесса прогнозировать ожидаемый результат обработки. Однако, прогнозируемые результаты, как правило, отличаются от реальных. Это связано с тем, что при принятии решения есть возможность воспользоваться только доступной на сегодня информацией о том или ином технологическом процессе, о сущности физико-химического механизма преобразования энергии входа, соответствующего конкретному методу, способу, виду обработки, и влиянии его компонентов на формирование свойств обрабатываемых заготовок.

На рис. 1 в качестве примера представлена физико-технологическая модель обработки резанием, объединяющая основные элементы этого процесса. Составляющие физико-технологических моделей методов обработки являются переменными параметрами, и их конкретное наполнение находится в прямой зависимости от существующих на данный момент времени научных представлений о предмете. Так, в приведенной модели в качестве физических элементов, входящих в блок «физико-химический механизм взаимодействия инструмента и заготовки» как новые составляющие, введены, например, взрыв (явление взрывного преобразования свойств обрабатываемого материала) и сверхтекучесть [4, 5].



Рис. 1. Физико-технологическая модель процесса резания

$Tч$ – точность; Ra – параметр шероховатости поверхности; $\sigma_{ост}$ – остаточное напряжение; h_n – толщина наклепанного слоя; T – период стойкости инструмента; $Пр$ – производительность; $Сб$ – себестоимость и др.

При резании входными параметрами являются: заготовка (материал и его свойства, способ установки, жесткость); инструмент (материал, геометрические параметры, размеры поперечного сечения, величина вылета, схема установки); технологическая среда (температура окружающей среды, атмосферное давление, вид смазочно-охлаждающей жидкости и ее физико-химические свойства); режим обработки (элементы режима резания зависят от рассматриваемого вида обработки и решаемых задач на конкретном технологическом переходе и определяются с учетом обрабатываемости резанием); станок, приспособление и состояние элементов технологической системы на данный момент времени.

Вся совокупность составляющих технологии обработки резанием (см. рис. 1) приходит во взаимодействие при задании относительных перемещений инструменту и заготовке в соответствии со схемой обработки, например, при обтачивании – от вращательного движения заготовки и находящегося в контакте с ней инструмента, совершающего поступательное движение вдоль обрабатываемой поверхности. Это взаимодействие должно решить следующие задачи: разделить материал заготовки на основной и стружку, получить заданную форму и требуемые показатели качества обработанной поверхности, обеспечить экономические показатели обработки.

При обработке резанием большая мощность электродвигателя металлорежущего станка передается на малый по размерам контактный участок обрабатываемой заготовки. Приложенная извне механическая энергия локализуется в зоне резания в местах протекания процессов деформации и разрушения и преобразуется при этом в другие виды энергии. Например, механическая энергия от давления инструмента на заготовку вызывает в зоне резания деформационные процессы, которые в свою очередь выделяют тепловую энергию. Тепловая энергия, суммируясь с внутренней энергией вынужденных колебаний микрообъемов обрабатываемого материала при больших скоростях деформаций ($\dot{\epsilon} \sim 10^4 \dots 10^8 \text{ с}^{-1}$) и всестороннем сжатии, создает внутри этого твердого тела высочайшие термодинамические нагрузки ("реверсивное" возбуждение механической энергии) на соседние микрообъемы обрабатываемого материала.

В результате в зоне резания преобразование свойств материала заготовки осуществляется в условиях, которые по своим энергетическим и динамическим характеристикам соответствуют условиям взрыва химических взрывчатых веществ [4, 5] - см. таблицу.

Таблица

Характеристики	Взрыв химического ВВ	Процесс резания
Объемное выделение энергии, Дж/мм ³	4...8 *)	2...70 **)
Время протекания процесса, с	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁶ (10 ⁻⁷)
Давление, ГПа	до 10	2...70 **)
Температура, К	до 2·10 ³ ...4·10 ³ (в эпицентре)	до 1,5·10 ³ ***) (осредненная)

*) Приведены численные значения объемного выделения энергии наиболее распространенных типов химических ВВ, таких как тротил, аммонит №7, аммонит №6ЖВ, аммонит скальный №1, аммонал водоустойчивый.

***) Данные объемного выделения энергии и действующих давлений в процессе резания получены на разных операциях, при обработке широкой номенклатуры конструкционных материалов и разных режимах обработки.

****) Приведены осредненные температуры, зафиксированные на периферии зоны резания. Экспериментальных данных по температуре в местах протекания взрыва и разрушения при резании сегодня нет.

Мощное энергетическое воздействие на материал в ограниченных объемах зоны резания включает такие процессы и явления, как сверхтекучесть, сварочные процессы, которые лечат разрушенный металл, а также адгезионные и диффузионные процессы между обрабатываемым и инструментальными материалами и внешней средой. При этом энергия взрыва интегрируется с совокупными энергиями от всех процессов и явлений (химических, электрических, магнитных, контактных и др.), происходящих одновременно в зоне стружкообразования и влияющих на формирование поверхностного слоя обработанной поверхности и ее показатели качества. Таким образом, одновременно протекает совокупность процессов, которые сопровождаются разными явлениями. Отделить одно от другого не представляется возможным. Это все равно, что выделить в расплаве отдельные элементы, пока он не начал кристаллизоваться.

Основной задачей технологических исследований является установление связи начальных условий обработки с ее результатом, выявления качественных и количественных закономерностей, позволяющих целенаправленно управлять процессом резания. Непосредственно осуществить это опытным путем не представляется возможным, поскольку простой перебор всех переменных параметров начальных условий и фиксирование при этом соответствующих технико-экономических показателей, показателей точности обработки, параметров качества поверхностного слоя и других показателей, определяющих служебные характеристики изделия и гарантию его долговечности, потребовал бы чрезмерно большого времени. А, если учесть, что обрабатываемые и инструментальные материалы так же, как и технологические машины, постоянно совершенствуются и видоизменяются, то становится очевидным, что, минуя физико-химические процессы, установить непосредственную эмпирическую связь между входом и выходом любой технологии является трудно осуществимой задачей.

В соответствии с этим, технологическое обеспечение требуемых показателей обработки должно строиться на фундаментальных знаниях физико-химических процессов, протекающих в зоне резания при взаимодействии инструмента и заготовки, поскольку эти процессы являются связующим звеном между начальными условиями обработки и ее результирующими показателями. Поэтому так важно владеть знаниями о механизме преобразования энергии или энергий на входе технологического процесса в энергии, которые участвуют в формировании свойств обработанной поверхности, научиться прогнозировать их совокупное действие на результат обработки, а также уметь управлять ими.

Следует отметить, что на сегодняшний день состояние приборного оснащения не позволяет выделить отдельные виды энергетических воздействий и результат воздействия каждого из них. Поэтому все исследования проводят с условным выделением одного из факторов, который считают переменным при остальных постоянных. Вместе с тем, изучить в отдельности процессы и явления не только не представляется возможным, но и методически неправильно. Например, теплота, выделившаяся в результате деформирования материала (внутренняя энергия), тут же становится источником внешней энергии и не только включается в энергетическое обеспечение уже протекающих в зоне резания процессов таких, как термопластический сдвиг, сверхтекучесть, адгезия, диффузия, наростообразование и других, но и приводит к возникновению новых.

Воздействие на внутренние процессы и явления, происходящие при контакте заготовки и инструмента, можно рассматривать как механизм управления технологическим процессом и показателями качества обрабатываемого объекта. Для этого должны быть установлены количественные или хотя бы качественные зависимости между интенсивностью протекания процессов и результирующими показателями обработки. Поэтому изучение физического механизма преобразования свойств материала при резании, выявление внутренних взаимосвязей действующих процессов и явлений представляется актуальной задачей. Взрывной характер разрушения обрабатываемого материала при удалении припуска влечет за собой новые подходы к описанию физических основ процесса резания и формирования свойств поверхностного слоя обработанной поверхности с учетом явлений ударно-волнового сжатия и других динамических процессов и явлений.

Рассмотрение технологического процесса как преобразователя энергий возможно лишь на базе современных представлений таких фундаментальных наук как физическое материаловедение, физика твердого тела, теория пластичности и теория ползучести, математическая физика и др., а также на базе использования современных методов исследований. Каждый шаг в познании физического механизма преобразования свойств материала тем или иным технологическим методом обработки приближает к решению основной технологической задачи – обеспечение качества продукции и повышение эффективности производства за счет создания более совершенных технологий, неким прообразом которых можно рассматривать современные комбинированные методы обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баландин Г.Ф. О теоретических основах технологии машиностроения // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение, 1993. – №4. – С. 3-8.
2. Ярославцев В.М. Базовые положения общности технологических методов обработки // Материалы 7-го Всероссийского Совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники». – М., 2003. – С. 185-186.
3. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Прогнозирование надежности реновируемых деталей машин на основе анализа структуры технологии восстановления // Методы менеджмента качества, 1999. – №8. – С. 52-58.

4. Ярославцев В.М. Новое о процессе резания // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение, 2000. – №4. – С. 32-46.

5. Ярославцев В.М. Взрыв и сверхтекучесть при обработке металлов резанием // Материалы 6-го Всероссийского Совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники». Москва, 16-18 мая 2001. – М., 2001. – С. 65-66.

Technological process as an energy conversion device

07, July 2012

DOI: 10.7463/0712.0414854

Yaroslavtsev V.M.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

yaroslavtsev.v.m@gmail.com

It was shown in the article that any technological process can be considered as an energy conversion device. Each method, approach, means of treatment has a single-piece tool which is external energy. Performance factors are formed at the expense of both transformation and numeric distribution of external heat and maintenance of energy run-off conditions. The required output parameters of the forming process are achieved by controlling the internal processes and effects occurring in the work zone.

Publications with keywords: [technological process](#), [management by a process](#), [quality of processing](#), [power converter](#), [beam energy](#), [physic-technological model](#), [physical tool](#), [processing method](#)

Publications with words: [technological process](#), [management by a process](#), [quality of processing](#), [power converter](#), [beam energy](#), [physic-technological model](#), [physical tool](#), [processing method](#)

References

1. Balandin G.F. O teoreticheskikh osnovakh tekhnologii mashinostroeniia [On the theoretical foundations of mechanical engineering]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 1993, no. 4, pp. 3-8.
2. Iaroslavtsev V.M. Bazovye polozheniia obshchnosti tekhnologicheskikh metodov obrabotki [Basic provisions of common technological processing methods]. “*Inzhenerno-Fizicheskie Problemy Novoi Tekhniki*”. *Mat. 7 Vseros. Soveshch.-Semin.* [“Engineering and Physical Challenges of New Technology”. Proc. 7th All-Russ. Meet.-Semin.]. Moscow, 2003, pp. 185-186.
3. Iaroslavtsev V.M., Iaroslavtseva N.A. Prognozirovaniye nadezhnosti renoviruemykh detalei mashin na osnove analiza struktury tekhnologii vosstanovleniia [Reliability prediction of renovated machine parts based on the analysis of the structure recovery technology]. *Metody menedzhmenta kachestva*, 1999, no. 8, pp. 52-58.

4. Iaroslavtsev V.M. Novoe o protsesse rezaniia [New information on the process of cutting]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 2000, no. 4, pp. 32-46.
5. Iaroslavtsev V.M. Vzryv i sverkhtekuchest' pri obrabotke metallov rezaniem [Explosion and superfluidity in metal cutting]. “*Inzhenerno-Fizicheskie Problemy Novoi Tekhniki*“. *Mat. 6 Vseros. Soveshch.-Semin.* [“Engineering and Physical Challenges of New Technology”. Proc. 6th All-Russ. Meet.-Semin.]. Moscow, May 16-18, 2001, pp. 65-66.