4. *Умняшкин, В. А.* Динамика комбинированных энергосиловых установок машин / В. А. Умняшкин, Н. М. Филькин // Вестн. Урал. межрегион. отд-ния Рос. акад. транспорта. – Курган, 1998. – № 1. – С. 4–10.

5. *Филькина, А. Н.* Комплекс программных средств автоматизированного исследования топливной экономичности, тягово-скоростных свойств и оптимизации параметров трансмиссии транспортных машин TRANSMIT / А. Н. Филькина, Н. М. Филькин // Инновации в науке, технике, образовании и социальной сфере : материалы Всерос. молодеж. науч.-практ. конф. – Казань : Экоцентр, 2003. – С. 126.

6. *Кондрашкин, А. С.* Методика расчета передаточных чисел трансмиссии легкового автомобиля / А. С. Кондрашкин, В. А. Умняшкин, Н. М. Филькин // Автомобил. пром-сть. – 1986. – № 2. – С. 16–17.

7. *Филькин, Н. М.* Методика оптимизации базовых параметров гибридной энергосиловой установки / Н. М. Филькин // Современные проблемы информатизации в технике и технологиях : сб. тр. X Междунар. открытой науч. конф. – Вып. 10. – Воронеж : Науч. кн., 2005. – С. 209–210.

8. *Филькин, Н. М.* Требования к работе пускорегулирующей аппаратуры легкового автомобиля с комбинированной энергосиловой установкой / Н. М. Филькин // Вестн. Урал. межрегион. отд-ния Рос. акад. транспорта. – Курган, 1999. – № 2. – С. 53–55.

УДК 621.9.011

А. И. Тананин, кандидат технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет

ТЕОРИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Посвящается памяти профессора Б. Ф. Федорова, замечательного человека, выдающегося ученого, организатора машиностроительного производства, умелого организатора учебно-методической, научной работы на кафедре, прекрасного воспитателя молодежи.

Памятны годы совместной работы в вузе. Не все помнят, что одним из инициаторов разработки и подписания Договора о творческом содружестве и социалистическом соревновании вузов Урала и Сибири был Б. Ф. Федоров. Нельзя не отметить, что это содружество реально помогло становлению и развитию нашего вуза, особенно в подготовке высококвалифицированных кадров. На одном из совещаний такого содружества в УПИ (УГТУ) Б. Ф. Федоров пригласил нас – автора данной статьи, проректора ИМИ В. А. Зуева посетить «Уралмаш». Навсегда запомнилось, с каким благоговением и гордостью Борис Федорович показывал нам завод-гигант, завод заводов «Уралмаш», на котором он проработал более десяти лет, пройдя путь от инженера-технолога до заместителя главного инженера. Памятно и потому, что именно в этом году на заводе завершалась сборка 25-тонного шагающего экскаватора, и виделся он как восьмое чудо света, очевидно, и поэтому лицо Бориса Федоровича светилось счастьем и не чувствовалось усталости, несмотря на то, что пройдено было по территории завода уже более десяти километров.

Рамки статьи ограничены, поэтому в заключение хочется подчеркнуть – где бы ни работал, что бы ни делал Борис Федорович, он всегда был собран, деловит, пунктуален, принципиален, проявлял находчивость и изобретательность.

Исторически проблема качества воспринималась как сугубо техническая, инженерная, и ею занимались практики, акцентируя внимание на эксплуатационных показателях и экономических, понимая значение качества как средство для достижения эффективности общественного производства.

© Тананин А. И., 2008

С учетом сложности и многофункциональности решения этой проблемы стало очень важным применение комплексного подхода с глубокой проработкой всех составляющих системы качества и, особенно, теории физики процесса механической обработки все возрастающей номенклатуры обрабатываемых, а также инструментальных материалов и методов обработки.

Следует отметить, что управление качеством прошло эволюционный путь развития: от простых, чисто технических операций контроля параметров детали, изделия – до создания систем управления качеством выпускаемой продукции, совершенствования эффективности работы этой системы всего производства, предприятия.

Комплексный системный подход, учет всех, даже малозначимых на первый взгляд, факторов, влияющих на качество продукции, использование теории и практики управления обеспечивают широкое и эффективное применение системы управления качеством.

В этой связи выбор прогрессивного метода обработки и оптимальных условий его реализации являются определяющими в системе управления качеством изготовления деталей и изделий.

Известно, что процесс резания представляет собой упругопластическое деформирование срезаемого слоя и поверхностных слоев обработанных поверхностей, и глубокое изучение контактных явлений во многом позволяет не только оперативно оптимизировать процесс обработки, но и эффективно управлять качеством обработанных поверхностей.

Механическая обработка подразделяется на лезвийную (режущими элементами-клиньями) и абразивную (абразивными закрепленными или свободными зернами).

Создание новых высокоэффективных методов обработки ведется в направлении использования других видов воздействия на удаляемый слой материала и, прежде всего, электрических, тепловых и химических процессов, а также применения комбинированных методов обработки, основанных на совмещении нескольких видов воздействия, например: механическое и тепловое; механическое и химическое; механическое и электрическое; механическое, химическое и электрическое; механическое, тепловое, химическое и электрическое и т. д. При этом совмещаются несколько механических методов.

На сегодня классификация методов обработки может быть представлена следующим образом.

1. Способ и тип энергии, подводимой в зону резания (обработки).
   - 1.1. Способ подвода энергии:
     - 1.1.1. Сверхскоростное резание;
     - 1.1.2. Ультразвуковая обработка;
     - 1.1.3. Вибрационное резание;
     - 1.1.4. Импульсная обработка.
   - 1.2. Тип энергии:
     - 1.2.1. Механическая;
     - 1.2.2. Электрическая;
     - 1.2.3. Химическая;
     - 1.2.4. Тепловая;
     - 1.2.5. Ядерная.
2. Вид физико-химического механизма.
3. Основными физико-химическими процессами, обеспечивающими снятие припуска, являются пластическая деформация с последующим вязким или хруп-

ким разрушением, плавление, испарение, анодное растворение, эрозионное разрушение.

4. Схема формообразования или кинематическая схема обработки.

Схема формообразования и определяет название операции.

5. Комбинированные методы:

5.1. Методы с использованием одновременно механического и химического воздействия на удаляемый слой материала. Например: химико-механическая обработка; механическая обработка с подачей в зону обработки активных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и др.

5.2. Методы с использованием термомеханического воздействия. Обработка заготовок предварительно нагретых или с непрерывным нагревом срезаемого слоя материала и т. д.

5.3. Методы обработки, сочетающие механическое вибрационное воздействие с равномерным механическим или другими физическими видами воздействия как средством интенсификации процесса обработки. Например, обработка с наложением на инструмент вибраций ультразвуковой частоты.

5.4. Методы обработки, основанные на совмещении электрического воздействия с другими видами воздействия. К ним относят электроконтактную, анодно-абразивную обработку и анодно-механическую обработку.

Электроконтактная обработка, совмещающая электрическое воздействие с электротермическим и электроэрозионным с последующим удалением продуктов обработки, обеспечивает высокую производительность обработки.

Анодно-абразивная обработка является перспективной. Она совмещает анодное растворение с механическим съемом абразивными инструментами, в том числе из сверхтвердых материалов.

Анодно-механическая обработка по ряду признаков схожа с электроконтактной. Однако при анодно-механической обработке в условиях электрохимической и электроэрозионной одновременно осуществляется механическое воздействие на удаляемый слой и обработанную поверхность.

5.5. Электро-эрозионно-химическая обработка.

Таким образом, проведенный анализ основных методов обработки и тенденций повышения производительности обработки предопределяет необходимость правильного выбора структурной схемы обработки.

Следует отметить, что с точки зрения процесса формообразования поверхности детали вовсе не безразлично, каким методом – простым или комбинированным – она получена. Технологическая наследственность предопределит качество обработанной поверхности. В ряде случаев применение комбинированных методов не только повышает производительность обработки, но и повышает качество обработанных поверхностей.

Процесс обработки представляет собой весьма сложную совокупность упругопластических, физико-химических явлений, в которую входят кинематика процесса обработки, напряженное состояние срезаемого слоя и обработанной поверхности, упругопластическое деформирование и разрушение (отделение) срезаемого слоя в зоне резания, контактные явления на передней и задней поверхностях инструмента (включая кинематику контактного течения и условия трения), динамическое состояние системы: станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД), тепловые, химические, электрические явления и другие факторы.

Все эти процессы в основе составляют структурную схему обработки. Структурная схема обработки определяет взаимосвязь между входными – первичными

параметрами, определяемыми системой СПИД, и выходными – вторичными, определяющими результаты обработки. Простая структурная схема механической обработки представлена на рис. 1.

Представленная структурная схема механической обработки может быть использована и для любого другого метода обработки, характеризует взаимосвязь между входными $F_{вх}$ и выходными $F_{вых}$ параметрами, определяющими результаты обработки. Вторичные, главным образом технологические, параметры определяются как результат воздействия процесса обработки на заготовку. Процесс обработки, являясь связующим звеном между первичными и вторичными параметрами, сочетает совокупное действие многочисленных явлений, протекающих в процессе обработки.

Для детального исследования и применения на практике целесообразно строить развернутые структурные схемы, максимально отражающие цели, задачи такого исследования и физическую сущность процесса обработки. В этом случае структурная схема является алгоритмом, конструктивным представлением в ее реализации. Кроме того, такие схемы необходимы при автоматизации производственных процессов, совершенствования теории автоматического регулирования.

Структурные схемы, в которых вскрываются внутренние физические связи каждого из элементов схемы, способствуют более ясному пониманию их сущности, взаимосвязи между отдельными явлениями и на этой основе дают возможность оптимизировать условия обработки и моделировать процессы обработки.

Пределы значений параметров структурной схемы определяются рядом технических и технологических ограничений. Среди первичных параметров – это технические данные станка (оборудования) – мощность приводов, прочность слабого звена, диапазон частот вращения шпинделя и привода подач, прочность режущего инструмента и допускаемая им скорость резания и подача. Известно, что скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента, прежде всего, зависит от температуры теплостойкости режущей части инструментального материала. Подача и глубина резания при обработке обычно ограничены прочностью и жесткостью станка и приспособления, а также точностью и шероховатостью обработанной поверхности. Таким образом, уже при задании первичных параметров процесса обработки должны учитываться обратные связи между первичными и вторичными параметрами структурной схемы. Эти связи и назначаемые и ожидаемые параметры зависят от большого числа факторов. Комплексный учет их дает возможность установить критические условия обработки, которые, наряду с техническими, при моделировании должны обязательно учитываться.

Моделирование и определение оптимальных условий обработки сегодня с успехом выполняются с применением вычислительной техники – автоматизированными методами. Однако применение их затруднено в связи с необходимостью иметь большое количество экспериментальных данных и других параметров, входящих в структурную схему обработки, а также функциональные связи между ними. Чаще моделирование и оптимизация выполняются на основе упрощенных структурных схем.

Глубокие исследования, например, физической сущности процесса обработки во взаимосвязи с условиями обработки, дают возможность вычленить один или несколько параметров условий обработки, а также выходных или параметров процесса обработки, которые позволяют с достаточно высокой степенью точности оптимизировать условия процесса обработки и с минимальными экономическими и временными затратами. Таким, на мой взгляд, является экспрес-метод определе-

ния оптимальной скорости резания по экстремальности зависимости длины участка упрочнения C_2 от скорости резания.

Первичные параметры обработки, $F_{вх}$						
Параметры системы СПИД						
Станок (тип, модель, жесткость)	Приспо-собление (тип, схема крепления, жесткость)	Инструмент (материал и геометрия режущего клина)	Деталь (матери-ал, при-пуск, раз-меры)	Схема обработки (настройки)	Режим обработ-ки (скорость, подача, глубина резания)	СОТС (вид, состав, способ подачи)
Ст	Пр	Ин	Дт	Сх	Рж	Ср

↓

Процесс обработки						
Параметры процесса обработки, $F_{пр}$						
Кинематика обработки	Упруго-пластические деформации и разрушение (отделение)	Контактные процессы. Кинематика контактного течения	Динамика обработ-ки	Тепловые процессы	Электро-химические процессы	Электротер-мические и магнитные процессы

↓

Выходные параметры обработки, $F_{вых}$					
Параметры обработанной поверхности					
Точность обра-ботки (класс точ-ности, допуск)	Шероховатость поверхности, мкм	Стойкость инстру-мента, мин	Прочность инстру-мента, н/мм^2	Производительность обработки, шт/ мин, мм^3 / мин	Экономичность обработки, руб. / шт.
Тч	*Ra*, *Rz*	*T*	*Q*	*W*	Эк

Рис. 1. Структурная схема механической обработки

На рис. 2 изображена зависимость влияния скорости резания на длину участка упрочнения. В зоне оптимальных скоростей резания существует экстремум на кривой зависимости длины участка упрочнения C_2 от скорости резания, что объясняется изменением процесса стружкообразования. При оптимальной скорости резания значительно активизируется контактное течение металла, увеличивается толщина контактной зоны, снижается градиент скорости перемещения металла в контактной зоне. Кроме того, уменьшаются затраты энергии на срезание стружки, а также теплонагруженность режущего клина. Это неразрывно связано с уменьшением длины участка упрочнения C_2.

Способ осуществляется следующим образом.

По результатам стандартных кратковременных испытаний в выбранном интервале скоростей резания определяют длину участка упрочнения на передней поверхности инструмента. Интервал скоростей резания выбирают с учетом априорной информации о расположении оптимальной скорости резания, которую можно получить по литературным данным. По таблицам на основе физико-механических свойств и химического состава исследуемого материала можно определить, к какой группе он относится, и ориентировочно выявить область оптимальной скорости резания. Дальнейшие испытания проводятся в априорно выявленной области нахождения оптимальной скорости резания. Подобная априорная информация позволя-

ет сократить время определения оптимальной скорости резания. Замеры длины участка упрочнения на передней поверхности инструмента производят через каждые 5…10 м/мин в выбранном интервале скоростей резания. Замеры участка упрочнения производят с помощью микроскопа и строят график зависимости длины участка упрочнения от скорости резания – $C_2 = f(V)$. По минимальной длине участка упрочнения определяют оптимальную скорость резания (рис. 2). Результаты исследований, представленные на рис. 2, получены при точении стали 45 резцом с механическим креплением пластины твердого сплава Т15К6. Геометрические параметры резца: $\gamma = +7$; $\alpha = \alpha = 20$; $\varphi = \varphi 1 = 45$; $\lambda = 0$. Режим обработки: глубина резания $t = 2$ мм; продольная подача $S = 0{,}3$ мм/об; скорость резания V изменялась в интервале от 100 до 160 м/мин через каждые 10 м/мин. Из графика (рис. 2) видно, что минимальной величине участка упрочнения $C_2 = 0{,}041$ мм соответствует оптимальная скорость резания $V_o = 130$ м/мин.

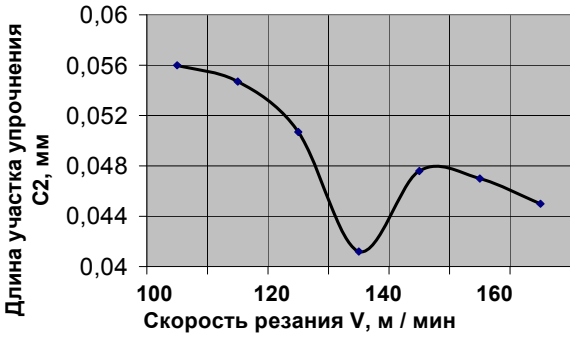

Рис. 2. Влияние скорости резания на длину участка упрочнения C_2

Данный метод, в отличие от стандартного, учитывает размерную стойкость инструмента и связанную с ней точность и шероховатость обработанной поверхности, потому что участок упрочнения C_2 является тем комплексным параметром, который выражает физическую и количественную связь всех факторов процесса обработки с основными его характеристиками.

К изложенному следует добавить, что точное описание любого метода представляет большие трудности, да и не всегда связано с практической необходимостью. Поэтому налицо эффективность применения частных структурных схем. Частные структурные схемы представляют те составляющие общей структурной схемы, которые представляют интерес в изучении данного параметра или физического явления. При этом содержание каждой составляющей структурной схемы, влияющей на исследуемый параметр, расширяется и дополняется. Именно так и поступили при изучении физической сущности контактных процессов. Так, например, выделен параметр – длина участка упрочнения C_2 в этих исследованиях и установлено влияние различных факторов на него.

Рассмотренные структурные схемы и метод оптимизации показывают, что исследование процессов обработки и разработка на его основе оптимальных условий обработки являются задачей многофакторной. Поэтому целесообразно переходить на многофакторные методы исследования с использованием математической теории эксперимента.

В свою очередь оптимальные условия обработки обеспечивают минимальную интенсивность износа лимитирующих участков режущих поверхностей инструмента.

На рис. 3 представлено влияние скорости резания на интенсивность износа резца, оснащенного твердым сплавом Т15К6, при обработке стали 35ХГСА с подачей S = 0,4 мм/об, глубиной резания t = 1 мм.

Рис. 3. Влияние скорости резания на интенсивность износа инструмента

Исследованиями влияния скорости и температуры резания на основные физические характеристики процесса резания установлено, что при оптимальных режимах обработки достигается минимальная интенсивность износа инструмента, минимальный размерный износ и наилучшее качество поверхностного слоя обработанных поверхностей. Использование метода оптимизации режима обработки по величине постоянной оптимальной температуры резания позволяет также существенно сократить продолжительность эксперимента.

Методы оптимизации с использованием математических методов планирования эксперимента позволяют включать в получаемые модели не только технологические параметры, но и характеристики, обусловленные физико-химико-механическими свойствами обрабатываемого материала.

Следовательно, для более точного расчета вторичных параметров процесса обработки следует использовать математическую теорию случайных функций, учитывающую вероятностный характер связи между первичными и вторичными параметрами структурной схемы. Кривая математического ожидания случайной функции дает максимально приближенный к действительному закон изменения данной функции.

Таким образом, любой метод механической обработки представляет собой комплекс физических (механических, динамических, тепловых, электрических и др.) и химических процессов, представляющих собой систему с прямыми и обратными связями. Структурная схема таких систем позволяет определить как аналитическую, так и вероятностную взаимосвязь первичных и вторичных параметров. Такой подход позволяет выявить роль отдельных параметров структурной схемы, а также отдельных физических явлений и на основе этого оптимизировать процесс, а сле-

довательно, обеспечить заданное качество обработанных поверхностей при заданной или максимальной производительности обработки.

Список литературы

1. *Окрепилов, В. В.* Управление качеством : учеб. для вузов / В. В. Окрепилов. –2-е изд., перераб. и доп. – М. : Экономика, 1998. – 782 с.

2. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 653200 «транспортные машины и транспортно-технологические комплексы». Рег. № 405 тех/дс. Утвержден 14.04.2000 г.

3. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 653300 «эксплуатация транспорта и транспортного оборудования». Рег. № 299 тех/дс. Утвержден 05.04.2000 г.

4. Государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования. Государственные требования к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности 1705 «техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта». Утвержден 22.02.2002 г.

5. *Кеменейд, Э.* Что требует бизнес и что дает вуз / Эверард Кеменейд, Пол Гарр // Стандарты и качество. – 2001. – № 10.

УДК 621.833.061

Д. В. Хлопов, инженер;
Р. С. Елагин, начальник отдела инноваций и логистики
ООО «Параллель»
В. Г. Осетров, доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАЧИ 2К-Н С ШАРОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В последнее время для совершенствования приводной техники применяются передачи с промежуточными элементами. В качестве промежуточных элементов могут использоваться шарики и ролики. Наиболее эффективно применять промежуточные элементы в планетарных редукторах типа 2К-Н, где не требуется высокая кинематическая точность. Например, такие передачи хорошо работают в системах смесителей различных растворов, на конвейерах, в механизированных инструментах и устройствах для перекрытия нефте- и газопроводов.

Конструкция шарового редуктора 2К-Н (рис. 1) обладает рядом преимуществ по сравнению с зубчатым редуктором.

Первое преимущество заключается в технологичности изготовления и высокой ремонтной способности, второе преимущество в том, что промежуточные элементы могут выполнять двойную функцию: служить для передачи крутящего момента и быть опорой для вала.

© Хлопов Д. В., Елагин Р. С., Осетров В. Г., 2008