

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Якимов А.В., докт. техн. наук, Новиков Ф.В., докт. техн. наук  
(г. Одесса, г. Харьков, Украина)

*General theoretical approach in technology of machinery, mechanical and physical-technical treatment has been presented.*

Технология машиностроения – это наука об изготовлении машин требуемого качества в установленном производственной программой количестве и в заданные сроки при наименьших затратах живого и овеществленного труда, т.е. при наименьшей себестоимости [1]. Данное определение, по сути, является формулировкой задачи оптимизации с указанием целевой функции – себестоимости – и технических ограничений, т.е. основным в технологии машиностроения является выбор оптимальных вариантов решений. Это требует построения математических моделей процессов создания машин с учетом многообразия факторов, определяющих возможности методов механической и физико-технической обработки, оборудования, инструментов, технологической оснастки, кинематических схем обработки и способов базирования заготовок при обработке и т.д. Установить замкнутую систему математических уравнений, с единых позиций описывающих процессы создания машин, т.е. получить общее решение, весьма сложно. Однако имеются отдельные частные решения. Например, методами линейного программирования с использованием эмпирических данных решена задача оптимизации режимов резания с учетом основных технологических ограничений. Получены решения задач структурно-параметрического синтеза механической обработки некоторых сложных деталей и т.д. Естественно, эти решения весьма приближенные и являются оптимальными лишь в пределах рассмотренных упрощенных моделей.

Для решения в полном объеме задачи оптимизации в технологии машиностроения необходимо, прежде всего, на фундаментальном уровне формализовать процессы обработки и на этой основе выявить и обосновать их технологические возможности. С этой целью нами [2, 3]:

1) произведена оценка известных теоретических решений по стружкообразованию при резании. Установлено существенное несоответствие расчетных и экспериментальных данных, например, расчетные значения коэффициента трения на передней поверхности

инструмента равны 1,5 ... 5,0, что лишено физического смысла. Исходя из этого, рассмотрена физическая модель резания с позиций теории упругости, учитывающая распределение напряжений в зоне резания от действия распределенных нагрузок. Модель основана на раздельном учете доли резания и доли трения на передней поверхности лезвийного инструмента. Это позволило, во-первых, по-новому раскрыть физическую суть процесса резания (условия образования угла сдвига в зависимости от трения на передней поверхности инструмента, условия наростообразования и т.д.), во-вторых, установить закономерности снижения сил и температуры резания, в-третьих, получить расчетные данные, близкие к экспериментальным;

2) установлены теоретические решения по динамике и прочности режущего инструмента. Доказано, что условия разрушения (износа) лезвийных и абразивных инструментов определяются не собственно силами резания, а их отношением (например,  $P_z/P_y$ ), которое зависит от многообразия параметров резания. Это позволило теоретически оценить запас прочности (надежность) инструментов при установившемся и прерывистом резании, где возникают динамические перегрузки.

Разработана модель автоколебаний при лезвийной и абразивной обработке, позволяющая по-новому подойти к пониманию причин возникновения высокочастотных колебаний и условий их устранения;

3) разработана формализованная теория процесса шлифования, учитывающая вероятностный характер расположения зерен на круге и их участия в резании, а также равенство энергий, затраченных на срез металла и износ круга. Установлено, что для каждого режима шлифования, каждой характеристики круга и обрабатываемого материала в процессе обработки формируется вполне конкретный режущий рельеф, который в конечном итоге определяет все показатели обработки. Это позволило приблизить теоретические и экспериментальные данные, устранить имеющийся дисбаланс между теорией и практикой шлифования, так как данное теоретическое (энергетическое) решение отличается от известных, которые не учитывают формирование устойчивого (энергетически равновесного) режущего рельефа круга. На основе данного решения получены принципиальные результаты. Так, впервые установлена экстремальная зависимость производительности  $Q$  от глубины шлифования  $t$  (при одинаковой нагрузке, действующей на зерно круга), рис. 1.

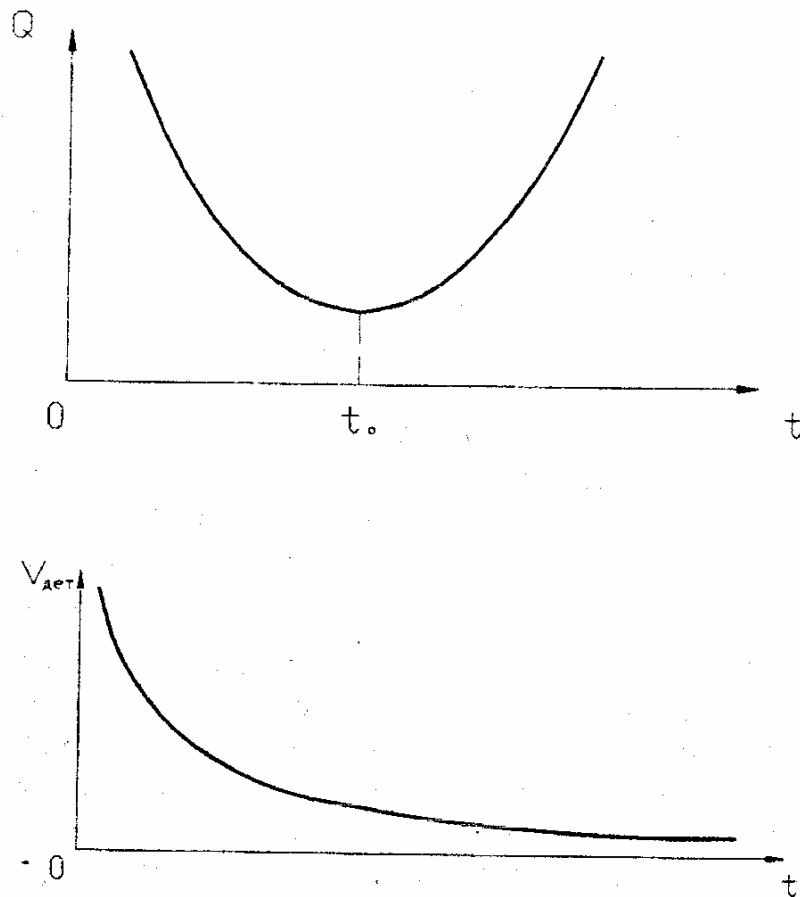


Рис. 1. Зависимости  $Q$  и  $V$  от  $t$ .

Минимум  $Q$  обусловлен существованием самой короткой стружки. Реализация условия  $t > t_0$  и  $t \rightarrow 0$ , можно существенно повысить производительность (в 10 раз и более). Установлено, что применяемые на практике кинематические схемы шлифования реализуют в основном минимум  $Q$ . Это указывает на не использование потенциальных возможностей шлифования. Правая ветвь зависимости  $Q - t$  частично реализована в процессах глубинного шлифования. Левая ветвь – нигде. Для ее реализации необходимо существенно увеличить скорость детали (вплоть до скорости круга), а также использовать дополнительные высокочастотные возвратно-поступательные движения круга или детали и т. д. Выполнение условий левой ветви зависимости – одно из перспективных направлений станкостроения, основанное на использовании физических эффектов зоны резания. На базе данного решения нами разработана гамма новых высокопроизводительных схем и способов шлифования.

Реализация правой ветви зависимости предполагает совершенствование процессов глубинного шлифования. Это прежде всего

управление режущей способностью круга и тепловыми потоками при шлифовании, уходящими в стружку, деталь, круг и охлаждающую жидкость. Доказано, что глубинное высокопроизводительное шлифование можно реализовать и для случая  $t < t_0$ , рассматривая в качестве параметра  $t$  глубину шлифования, приходящуюся на один оборот или проход круга и т.д. Это открывает новые возможности повышения производительности шлифования;

4) разработана теплофизическая модель резания, которая учитывает тепловые процессы, происходящие как в поверхностном слое детали, так и в срезаемом слое материала. Это позволило определить долю тепла, уходящего в стружку и деталь, определить распределение температуры вдоль дуги контакта круга с деталью, что весьма важно при глубинном шлифовании. Теоретически установлено, что температура резания  $\theta$  в зависимости от времени обработки  $\tau$  или глубины шлифования  $t$  асимптотически приближается к прямой  $\sigma/c \cdot \rho$ , где  $\sigma$  - энергоемкость процесса;  $\rho$ ,  $c$  - соответственно плотность и теплоемкость материала, рис. 2, а.

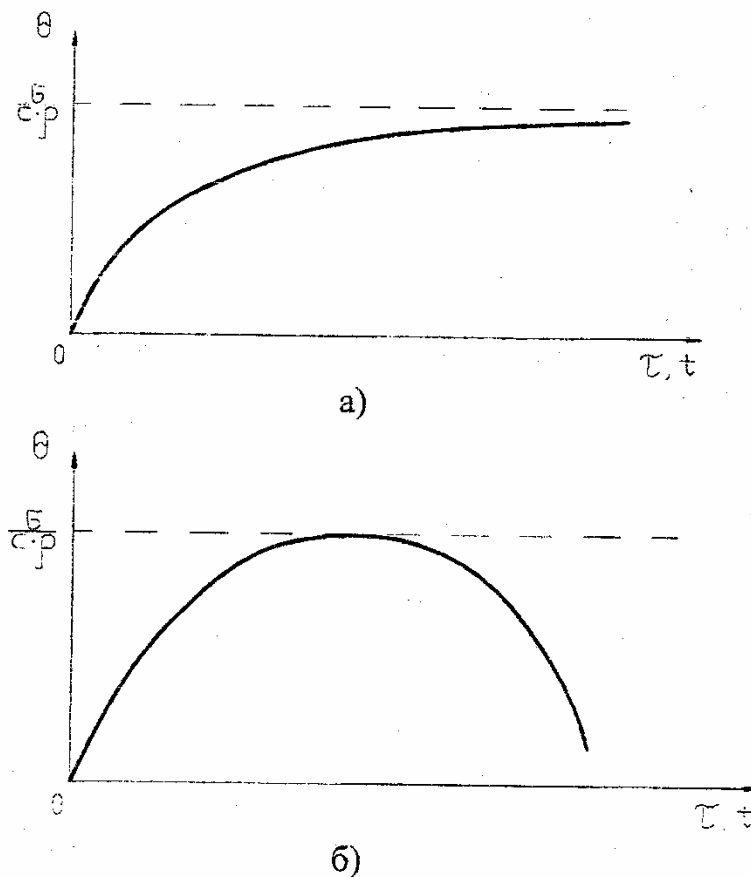


Рис. 2. Зависимость  $\theta$  от  $\tau$  или  $t$ .

Следовательно, уменьшить температуру  $\theta$  можно или уменьшением  $\sigma$ , или уменьшением  $\tau$  и  $t$ . Уменьшение  $\sigma$  требует поддержания высокой остроты круга за счет применения эффективной правки и главное - снижение (устранение) нежелательного трения материала со связкой круга. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что доля трения в общем энергетическом балансе обычного шлифования составляет до 90 % и более.

В условиях алмазного электроэрозионного шлифования она меньше 50 %. Уменьшить время  $\tau$  можно периодическим прерыванием контакта круга с деталью, применяя прерывистые круги или импульсную подачу. Уменьшение  $t$  предполагает переход в область многопроходного шлифования. Однако при правильном управлении параметром  $\sigma$  температура  $\theta$  с увеличением  $t$  может быть уменьшена, рис. 2, б, т.е. существует своего рода «тепловой барьер», превышение которого приводит к аномальным явлениям – уменьшению температуры с увеличением производительности;

5) получены важные теоретические решения об упругих деформациях технологической системы при обработке, формировании параметров точности и производительности с учетом упругих деформаций. На этой основе разработаны методики расчета межоперационных припусков, выбора технологических баз, точностного анализа технологических операций. Все решения вытекают из единой системы математических уравнений и охватывают процессы как механической, так и физико-технической обработки.

Полученные теоретические решения могут быть использованы при создании физических основ технологии машиностроения – нового научного направления в технологии машиностроения.

Разработанные модели создают объективные предпосылки для решения задач оптимизации в технологии машиностроения на более высоком уровне формализации.

**Список литературы:** 1. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с. 2. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с. 3. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: Учебное пособие / А.В.Якимов, Ф.В.Новиков, Г.В.Новиков, А.А.Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.