

# 1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.923

## КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Якимов А.В., докт. техн. наук,  
Новиков Г.В., канд. техн. наук, Якимов А.А., канд. техн. наук

(г. Харьков, г. Одесса, Украина)

*Theoretically motivated guidelines of raising efficiency of mechanical processing and creation large powered tools.*

Создание современной конкурентоспособной машиностроительной продукции требует широкого применения новых наукоемких технологий механической и физико-технической обработки и материалов, обеспечивающих многократное повышение производительности труда, качества, точности и экономичности изготовления деталей и машин. Для того чтобы оценить основные наиболее эффективные направления развития механических технологий обработки рассмотрим формулу для расчета производительности  $Q$

$$Q = S \cdot V = \frac{P_Z}{\sigma} \cdot V, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения среза,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – скорость резания,  $\text{м/с}$ ;  $P_Z$  – тангенциальная составляющая силы резания,  $\text{н}$ ;  $\sigma$  – условное напряжение резания,  $\text{н/м}^2$ .

Увеличить  $Q$  можно увеличением  $S$  и  $V$  или увеличением  $P_Z, V$  и уменьшением  $\sigma$ . Увеличение  $P_Z$  – это путь развития силового резания, а увеличение  $V$  – путь развития скоростного (высокоскоростного и сверхвысокоскоростного) резания. Уменьшение  $\sigma$  – это путь управления процессом стружкообразования при резании и в первую очередь контактными процессами, происходящими на рабочих поверхностях инструмента.

Параметр  $\sigma$  описывается приближенной зависимостью

$$\sigma = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \operatorname{tg}(\psi - \gamma), \quad (2)$$

где  $\sigma_{сж}$  - предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, н/м<sup>2</sup>;  $\psi$  - угол трения на передней поверхности инструмента ( $\operatorname{tg}\psi = f$  - коэффициент трения);  $\gamma$  - передний угол инструмента.

Уменьшить  $\sigma$  можно уменьшением угла  $\psi - \gamma$ , т.е. уменьшением угла трения  $\psi$  (коэффициента трения  $f$ ) и увеличением переднего угла инструмента  $\gamma$ . При определенных условиях  $\psi - \gamma \rightarrow 0$ , что позволяет существенно уменьшить  $\sigma$  и увеличить  $S$  и  $Q$ . Однако, увеличение  $S$  при резании лезвийными инструментами ограничено величиной снимаемого припуска. Более предпочтительным путем увеличения  $Q$  следует рассматривать увеличение скорости резания  $V$ , согласно зависимости (1).

Как известно, с увеличением  $V$  уменьшается коэффициент трения  $f$  на передней поверхности инструмента, что способствует уменьшению  $\sigma$  и дополнительному увеличению  $Q$ .

Средняя температура образующейся стружки  $Q$  определяется приближенной зависимостью

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho \cdot (1 + h/a)}, \quad (3)$$

где  $c, \rho$  - соответственно теплоемкость и плотность обрабатываемого материала;  $a$  - толщина среза, м;  $h$  - толщина нагретого слоя обрабатываемой поверхности, м;

$$\frac{h}{a} = \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot a \cdot V \cdot \operatorname{tg}\beta}}; \quad (4)$$

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала;  $\beta$  - угол сдвига материала.

С увеличением скорости резания  $V$  угол сдвига  $\beta$  увеличивается, а соотношение  $h/a$  уменьшается (в пределе  $h/a \rightarrow 1$ ). Следовательно, уменьшается количество тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. Средняя температура стружки  $\theta$  (равная приблизительно температуре поверхностного слоя обрабатываемой детали) с увеличением  $V$  мало изменяется, так как соотношение  $\sigma/(1 + h/a)$  остается почти постоянной величиной: числитель и знаменатель одновременно уменьшаются. В этом состоит физический эффект высокоскоростного и сверхвысокоскоростного резания, осуществляемого со скоростями резания свыше 100 м/с. Следует отметить, что традиционные методы обработки лезвийными инструментами реализуют скорости резания, как правило, не более 2 м/с. Как показывает опыт ведущих иностранных станкостроительных фирм, переход в область высокоскоростного резания позволяет более чем в 10 раз увеличить производительность обработки при одновременном повышении ка-

чества и точности обработки, что является кардинальным решением проблемы механической обработки материалов.

Для практической реализации данных процессов обработки необходимо создание отечественных станков, работающих со скоростями резания порядка 10000 м/мин. В связи с этим, важно направить усилия ученых-технологов на глубокое изучение процессов высокоскоростного и сверхскоростного резания и разработку рекомендаций по оптимизации режимов резания, научно обоснованному выбору, проектированию и изготовлению прогрессивных конструкций инструментов, работающих при больших скоростях резания. Необходимо как можно быстрее освоить и внедрить в производство эффективные процессы высокоскоростного и сверхвысокоскоростного точения, растачивания, фрезерования, сверления и т.д. Это станет важным шагом в повышении конкурентоспособности машиностроительной продукции, увеличении производительности труда, а также будет способствовать общему подъему производства.

Выявленные закономерности справедливы при резании металлических материалов. При резании неметаллических материалов практически все тепло уходит на нагревание режущего инструмента. В этом случае увеличение скорости резания существенно ограничено и определяется уровнем силовой напряженности процесса и условиями теплоотвода из зоны резания, т.е. теплопроводностью инструментального материала.

При шлифовании материалов, в связи с отрицательными передними углами режущих зерен круга, зависимость принимает вид

$$\sigma = 2 \cdot \sigma_{сжс} \cdot \operatorname{tg}(\psi + \gamma) \quad (5)$$

При  $(\psi + \gamma) \rightarrow 90^\circ$  имеем  $\operatorname{tg}(\psi + \gamma) \rightarrow \infty$ . Чтобы уменьшить параметр  $\sigma$ , необходимо уменьшить углы  $\psi$  и  $\gamma$ , применяя эффективные технологические среды (снижающие коэффициент трения), обеспечивая высокую остроту режущих зерен и т.д.

Сравнивая зависимости (2) и (5), видим, что при лезвийной обработке параметр  $\sigma$  меньше, чем при шлифовании. Следовательно, при шлифовании меньше суммарная мгновенная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами  $S$  и соответственно производительность обработки  $Q$ . Увеличить  $Q$  можно увеличением скорости резания (скорости круга).

В общем виде при шлифовании материалов производительность обработки  $Q$  определяется зависимостью

$$Q = \frac{P_y \cdot V_{кр} \cdot K_{ш}^2}{2 \cdot \sigma_{сжс}} \quad (6)$$

где  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания, н;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с;  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент резания при шлифовании.

Исходя из зависимости (6), увеличить  $Q$  можно прежде всего увеличением  $K_{ш}$  за счет повышения режущей способности круга ( $K_{ш}$  изменяется в преде-

лах  $f \dots 1$ , где  $f$  – коэффициент трения зерен круга с обрабатываемым материалом).

Параметры  $P_y$  и  $V_{кр}$  оказывают одинаковое влияние на  $Q$ , т.е. эффективно применение как силового (глубинного), так и высокоскоростного (сверхвысокоскоростного) шлифования. Эффект усиливается в случае совмещения глубинного и высокоскоростного шлифования.

В настоящее время ведущим иностранными станкостроительными фирмами освоено производство шлифовальных станков, работающих со скоростями резания порядка 300 м/с. Необходимо отметить, что в 1987 – 1991 гг. в ЭНИМСе (г. Москва) с нашим участием разрабатывались технические проекты по созданию гаммы станков для сверхвысокоскоростного резания, в том числе шлифовальных станков, реализующих скорости резания до 600 м/с.

Однако, в связи с распадом СССР этим решениям не удалось осуществиться, что привело к отставанию отечественного станкостроения. Поэтому важной и актуальной задачей следует рассматривать создание станков для высокоскоростного и сверхскоростного шлифования. В этом направлении имеются эффективные научные разработки, которые могут быть использованы при создании новых станков.

Процессы механической обработки чрезвычайно сложны и мало изучены. К сожалению, сегодня мы не имеем четкого представления о механике поведения технологической системы при обработке. Это ограничивает наши возможности при проектировании новых станков и создании высокоэффективных методов обработки. Для выработки новых решений необходимо как можно скорее перейти от традиционных эмпирических к научным аналитическим подходам, используя огромные достижения науки в области механики деформируемых систем. Например, рассчитывая величину упругого перемещения  $y$  при шлифовании образца, движущегося со скоростью  $V'_{дем}$  по нормали к кругу, мы получили интересное и важное решение:

$$y = y_1 \cdot e^{-\frac{\tau}{\alpha_3}} + V'_{дем} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{\alpha_3}} \right), \quad (7)$$

где  $\alpha_3 = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot F}{2 \cdot c \cdot (1 - \eta) \cdot V_{кр}}$ ,  $\tau$  - время обработки, с;  $HV$  – твердость обрабатываемого материала, н/м<sup>2</sup>;  $F$  - площадь контакта инструмента с материалом, м<sup>2</sup>;  $V_{кр}$  - скорость круга (или другого алмазно-абразивного инструмента), м/с;  $c$  – жесткость технологической системы, н/м;  $2\gamma$  - угол при вершине режущего зерна;  $y_1$  - начальное радиальное перемещение в технологической системе (при выхаживании равно величине снимаемого припуска), м;  $\eta$  - безразмерный коэффициент,  $\eta = 0 \dots 1$  ( $\eta \rightarrow 0$  – для острых зерен,  $\eta \rightarrow 1$  – для затупленных зерен). Слагаемые, входящие в (7), оказывают противоположное влияние на характер изменения величины упругого перемещения  $y$  во времени. Уменьшить  $y$  и тем

самым повысить точность обработки можно исключением второго слагаемого из зависимости (7). Это выполняется при  $V'_{det} = 0$ , т.е. при шлифовании без подачи с начальным радиальным перемещением  $y_1$ .

На практике данная схема обработки применяется при съеме относительно небольших припусков на доводочных операциях. В действительности, возможности схемы значительно шире и она может быть использована при съеме больших припусков, оставляемых, например, при предварительной лезвийной и окончательной абразивной обработке. Эффект схемы состоит в обеспечении максимально возможной производительности для заданной точности обработки. Основным ограничением применения схемы является создание начального натяга в технологической системе, равного величине снимаемого припуска, который может достигать больших значений 1...2 мм и более. В этих условиях на практике принято основную часть припуска удалять по жесткой схеме с заданной радиальной или продольной подачей инструмента и лишь небольшую часть припуска – по рассматриваемой схеме (с начальным радиальным перемещением  $y_1$ ).

Обработка по жесткой схеме описывается вторым слагаемым в (7) и ведет к увеличению величины  $y$  (снижению точности обработки). Следовательно, применяемые на практике схемы обработки лезвийными и абразивными инструментами с точки зрения обеспечения точности обработки являются малопродуктивными. Необходимо использовать схему без подачи с начальным радиальным перемещением, уменьшая припуски под обработку и ограничиваясь финишными операциями с применением абразивных и лезвийных инструментов. По – сути, применяемые на практике жесткие схемы резания являются вынужденной мерой в связи с необходимостью съема относительно больших припусков.

Для  $V'_{det} = 0$  зависимость (7) принимает вид

$$y = y_1 \cdot e^{-\frac{\tau}{\alpha_3}}. \quad (8)$$

Упругое перемещение  $y$  тем меньше, чем меньше величина  $y_1$  (равная величине снимаемого припуска) и больше время  $\tau$ . Уравнение (8) описывает «идеальную» схему резания с точки зрения обеспечения точности и производительности обработки, т.е. схему резания, которая в будущем может стать основной.

### Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов/А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450с.