

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЗВИЙНЫМИ И АБРАЗИВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

**Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Якимов А.В., докт. техн. наук,
Новиков Г.В., канд. техн. наук, Якимов А.А., канд. техн. наук**
*(Харьковский государственный экономический университет,
Одесский Национальный политехнический университет,
Научный центр НТК «Эльбор», г. Харьков)*

В работе рассмотрены основные концепции развития механической обработки материалов и создания металлорежущих станков. Обобщен опыт эффективного применения процессов высокоскоростной лезвийной и абразивной обработки материала в нашей стране и за рубежом.

Создание современной конкурентоспособной машиностроительной продукции требует широкого применения новых наукоемких технологий механической и физико-технической обработки 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, м²; V – скорость резания, м/с; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, н; σ – условное напряжение резания, н/м².

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

Параметр σ 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/м²; ψ – угол трения на передней поверхности инструмента ($\operatorname{tg}\psi = f$ – коэффициент трения); γ – передний угол инструмента.

Уменьшить σ можно уменьшением угла $\psi - \gamma$, т.е. уменьшением угла трения ψ (коэффициента трения f) и увеличением переднего угла инструмента γ . При определенных условиях $\psi - \gamma \rightarrow 0$, что позволяет существенно уменьшить σ 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 σ 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, ρ – соответственно теплоемкость и плотность обрабатываемого материала; a – толщина среза, м; h – толщина нагретого слоя обрабатываемой поверхности, м;

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

λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала; β – угол сдвига материала.

С увеличением скорости резания V угол сдвига β увеличивается, а соотношение h/a уменьшается (в пределе $h/a \rightarrow 1$). Следовательно, уменьшается количество тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. Средняя температура стружки θ (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 качества 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 уче-

ных-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

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

При $(\psi + \gamma) \rightarrow 90^\circ$ имеем $\operatorname{tg}(\psi + \gamma) \rightarrow \infty$. Чтобы уменьшить параметр σ , необходимо уменьшить углы ψ и γ , 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 σ 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

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

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 пределах $f \dots 1$, 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 $\alpha_3 = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot F}{2 \cdot c \cdot (1 - \eta) \cdot V_{кр}}$, τ – время обработки, с; HV – твердость обрабатываемого материала, н/м²; F – площадь контакта инструмента с материалом, м²; $V_{кр}$ – скорость круга (или другого алмазно-абразивного инструмента), м/с; c – жесткость технологической системы, н/м; 2γ – угол при вершине режущего зерна; y_1 – начальное радиальное перемещение в технологической системе (при выхаживании равно величине снимаемого припуска), м;

η - 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 $V'_{дет} = 0$, 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 обработки. 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 $V'_{дет} = 0$ 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 τ . Уравнение (8) описывает «идеальную» схему резания с точки зрения обеспечения точности и производительности обработки, т.е. схему резания, которая в будущем может стать основной.

Список литературы

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.