

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ И УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОМ ШЛИФОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ СТМ

Новиков Ф. В., Дудукалов Ю. В., Раб А. Ф.

Характерной особенностью современного уровня развития методов алмазно-абразивной обработки является широкое промышленное освоение большой гаммы разнообразных по характеристикам и назначению шлифовальных кругов из СТМ, успешное внедрение которых в производство возможно на базе глубокого изучения закономерностей процесса шлифования, в том числе с использованием методов математического моделирования. Последнее обстоятельство продиктовано необходимостью разработки надежных эффективных методов инженерного расчета, оптимизации и проектирования высокопроизводительных процессов шлифования с целью научно обоснованного назначения оптимальных режимов шлифования, выбора оптимальных характеристик круга и других условий обработки, управления процессом в условиях непрерывного электрофизикохимического воздействия на рабочую поверхность круга, а также математического построения оптимальных моделей шлифования и установления путей их практической реализации. Для решения поставленных задач предложено кинематическую (вероятностную) модель шлифования подчинить принципу энергетического равновесия механических систем, согласно которому для стабильной устойчивой работы круга необходимо добиться образования на его рабочей поверхности установившегося (энергетически равновесного) режущего рельефа, который зависит от режимов шлифования, характеристик круга, марки обрабатываемого материала, СОЖ и других условий. Располагая аналитическим описанием такого рельефа, и зная его взаимосвязь с основными показателями процесса шлифования, можно производить оптимизационные расчеты практически во всем диапазоне изменения параметров шлифования.

Решая совместно кинематико-вероятностную задачу устойчивости зерен в связке с учетом их износа, условий размещения стружки в межзеренном пространстве и стабилизации рельефа круга, получена единая замкнутая система уравнений, описывающих основные физические и технологические параметры шлифования: шероховатость шлифованной поверхности, максимальную (вероятностную) толщину среза, линейный и относительный расход алмаза, производительность шлифования, условное напряжение резания (энергоемкость шлифования), мощность и силы резания, величину линейного износа зерна до его объемного (хрупкого) разрушения или выпадения из связки, силу резания на отдельном зерне, высоту выступания зерен над связкой, объем межзеренного пространства круга, необходимого для размещения стружки; коэффициент, учитывающий степень заполнения стружкой межзеренного пространства круга и др. При необходимости перечень основных уравнений может быть расширен. Все описанные параметры шлифования выражены через режимы резания, характеристики круга, включая прочность зерен и связки, физико-механические

свойства обрабатываемого материала и др. Необходимость привлечения экспериментальных исследований связана главным образом с определением ряда физических характеристик для базового круга и обрабатываемого материала, которые не поддаются расчету, а также с проверкой и корректировкой полученных решений.

Следует отметить, что существующие математические модели, как правило, описывают переходные процессы шлифования (после правки круга) и не рассматривают процесс стабилизации рельефа круга, который играет исключительно важную роль в формировании основных показателей шлифования.

Благодаря математическому моделированию аналитически вскрыто и экспериментально подтверждено существование минимума относительного расхода алмаза в зависимости от режимных параметров практически для любой характеристики круга, что обусловлено трансформацией механизма износа круга. Причем, в каждой точке минимума относительного расхода алмаза выполняется условие одновременного равенства трех сил: силы резания на максимально выступающем зерне, прочности зерна на раздавливание и силы удержания зерна в связке. Принимая в качестве отправной (базовой) точки минимум относительного расхода алмаза, проведена аналитическая оптимизация процесса шлифования, которой установлено, что в точках “минимума” для каждой пары “круг–изделие” всегда реализуется приблизительно одинаковая производительность, не зависящая от сочетания режимных параметров и обусловленная условиями размещения стружки в межзеренном пространстве. Такая оптимизация проведена для режимов самозатачивания круга и непрерывной автономной электрохимической правки круга, что позволило вскрыть их существенное различие в механизме стабилизации рельефа круга. Расчетами определяется скорость электрохимического растворения связки для поддержания в процессе шлифования оптимального рельефа круга, что очень важно при разработке процессов шлифования кругами на высокопрочных связках, которые плохо работают в режиме самозатачивания.

Выполненные исследования позволили установить наиболее предпочтительные пути дальнейшего процесса шлифования, к числу которых в первую очередь следует отнести управление условиями размещения стружки в межзеренном пространстве круга. По данным исследований объем межзеренного пространства, необходимый для размещения стальной стружки в 100 – 1000 раз больше объема, необходимого для размещения такого же количества расплавленного (в виде жидкого металла), что свидетельствует о значительном недоиспользовании резервов шлифования. При более плотной “упаковке” стружки на кругах с высокопрочными связками и непрерывном электрохимическом поддержании оптимального рельефа круга производительность шлифования, при экономически допустимом расходе абразива и требуемом качестве обработки, может возрасти в несколько раз, а при электрофизических методах растравливания (сгорания или дробление) стружки еще выше. Такой эффект достигается за счет уменьшения объема, занимаемого стружкой, и увеличения величины износа зерна до его разрушения или выпадения из связки, т.е. повышения активной (режущей) части зерна.

Теоретические исследования хорошо подтверждаются экспериментально, разработанный на базе этих принципов процесс круглого глубинного шлифования позволяет производить обработку твердосплавных изделий с производительностью 20 – 50 тыс. мм<sup>3</sup>/мин.