

УДК 621.923

В.В. Малыгин, А.А. Егоров

Курский государственный технический университет

С.Г. Новиков

Курский институт социального образования

Ф.В. Новиков

Харьковский национальный экономический университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ КРУГАМИ
ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Рассмотрены условия расширения технологических возможностей абразивной обработки кругами из синтетических сверхтвердых материалов на основании теоретических и экспериментальных исследований процесса шлифования.

Процессы шлифования широко применяются в механической обработке деталей с целью повышения их качества и точности. Широкое освоение промышленностью производства шлифовальных кругов из синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) на основе алмазов и кубического нитрида бора значительно расширило технологические возможности операций шлифования. Особенно эффективно применение кругов из СТМ при шлифовании таких труднообрабатываемых материалов, как твердые сплавы, быстрорежущие и высокопрочные стали, износостойкие наплавки и различные жаропрочные конструкционные материалы, которые широко используются в инструментальном производстве, горнорудной промышленности, металлургии и других отраслях [1–4]. Замена на операциях шлифования абразивных кругов на алмазные или эльборовые позволяет в 1,5–2 раза увеличить работоспособность инструмента, устранить брак по трещинам, сколам и выкрашиванию режущих кромок, прижогам и другим структурным дефектам, присутствующим традиционным методам шлифования. Такая эффективность обработки достигается за счет значительного снижения сил и температуры резания, повышения стойкости и надежности работы круга. Однако использование кругов из СТМ в условиях предварительного шлифования экономически нецелесообразно из-за повышенного их износа, поэтому они наиболее эффективно применимы при чистовом шлифовании и доводке.

При шлифовании кругами из СТМ на режимах резания, рекомендуемых нормативами для абразивной обработки, установлено, что основным видом износа кругов из синтетических сверхтвердых материалов является механический, обусловленный разрушением связки и выпадением из нее малоизношенных зерен от действия чрезмерных нагрузок со стороны обрабатываемой заготовки. Такая закономерность установлена как для кругов из СТМ на органической и керамической связках, так и для кругов на металлических связках. Применение высокопрочных металлических связок позволяет снизить износ круга и, соответственно, повысить режимы шлифования, но круги на металлических связках быстро засаливаются, теряют режущую способность и требуют интенсивной периодической или непрерывной правки, что сопровождается повышенным износом круга. Однако ряд деталей из конструкционных материалов повышенной прочности с наплавленными поверхностями, из минералокерамики, керметов, релитовых сплавов обрабатываются только кругами из СТМ из-за невозможности применения абразивных кругов.

В связи с этим важное и актуальное значение приобретает решение проблемы обоснования и реализации новых технологических возможностей шлифования алмазными и кубонитовыми кругами, обеспечивающих существенное повышение производительности обработки при экономически приемлемом расходе кругов и высоком качестве обработки. За последние годы достигнуты определенные успехи в решении данной проблемы. Разработаны

эффективные процессы глубинного, скоростного, прерывистого шлифования, а также гамма высокопроизводительных процессов шлифования кругами из СТМ на металлических связках с введением в зону резания или автономно к правящему катоду дополнительной электрической энергии.

Среди разработанных процессов следует особо выделить процессы глубинного шлифования. Наблюдаемый эффект повышения производительности достигается в основном благодаря снижению толщины срезов и нагрузки, действующей на отдельные зерна круга [1, 2, 4]. Наиболее эффективно применение схемы глубинного шлифования при заточке, круглом наружном и внутреннем шлифовании твердосплавных и быстрорежущих инструментов (табл.).

Таблица 1

Рекомендации по выбору режимов обработки инструментов из твердого сплава и быстрорежущей стали кругами из СТМ [3, 4]

Вид обработки	$V_{кр}$, м/с	$V_{ш}$, м/мин	$S_{поп}$, мм/дв.ход	$S_{пр}$, м/мин	t , мм
Обработка твердосплавного инструмента алмазными кругами на металлических связках					
Круглое шлифование:					
наружное многопроходное	35–40		0,01–0,05	1–2	–
наружное глубинное	30–40	20–30	–	0,03–0,05	0,5–1,0
внутреннее глубинное	20–30		–	0,03–0,05	0,5–1,0
Обработка инструмента из быстрорежущей стали кругами из эльбора на органической связке (КБ, Б1, Б156, БИ1) 100%-ной концентрации					
Круглое наружное шлифование	30–40	10–25	–	0,5–1,0	0,02–0,1
Обработка инструмента из быстрорежущей стали кругами из эльбора на керамической связке С10 100%-ной концентрации					
Круглое наружное шлифование	30–50	20–30	–	0,5–1,5	0,01–0,05

Для анализа условий повышения производительности обработки Q рассмотрим зависимость

$$Q = V_{кр} \cdot S_{мгн}$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $S_{мгн} = n_p S$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами, м²; n_p – количество одновременно работающих зерен; S – площадь поперечного сечения среза отдельным зерном, м².

Параметр S представим в виде $S = P/\sigma$, где P – нагрузка, действующая на отдельное зерно, Н; σ – условное напряжение резания, МПа. Параметр σ в общем виде является функцией $\sigma = f(\alpha_z/\rho, A)$, где α_z – толщина среза, м; $\rho = \varphi(x)$ – радиус округления режущей части зерна, м; x – величина линейного износа зерен, м; A – параметр, характеризующий прочностные свойства обрабатываемого материала. Тогда производительность обработки функционально выразится:

$$Q = \psi(V_{кр}, n_p, \alpha_z, x, P, A).$$

Как видим, производительность обработки в общем случае зависит от шести параметров. Добиться увеличения производительности обработки Q можно за счет регулирования кинематическими параметрами $V_{кр}$, n_p , α_z и физическими параметрами x и P . В теории шлифования известны условия повышения Q путем регулирования кинематическими параметрами $V_{кр}$, n_p , α_z [1]. Технологические возможности увеличения производительности Q за счет регулирования параметрами x и P не обоснованы, что свидетельствует о недоиспользовании режущих свойств круга из СТМ при шлифовании.

Исходя из этого, можно сделать вывод о существовании значительных резервов повышения производительности обработки на основе применения оптимальных режимов шлифования кругами из СТМ, полученных с учетом физических параметров x и P . Правильность сделанного вывода подтверждается результатами экспериментальных исследований [1, 2, 4]. Проведенные экспериментальные исследования износа алмазных и кубонитовых кругов (рис.) показали, что с увеличением поперечной подачи количество зерен с площадками износа и со сколами снижается, а количество выпавших из связки круга зерен, без заметного изменения формы и размеров, увеличивается.

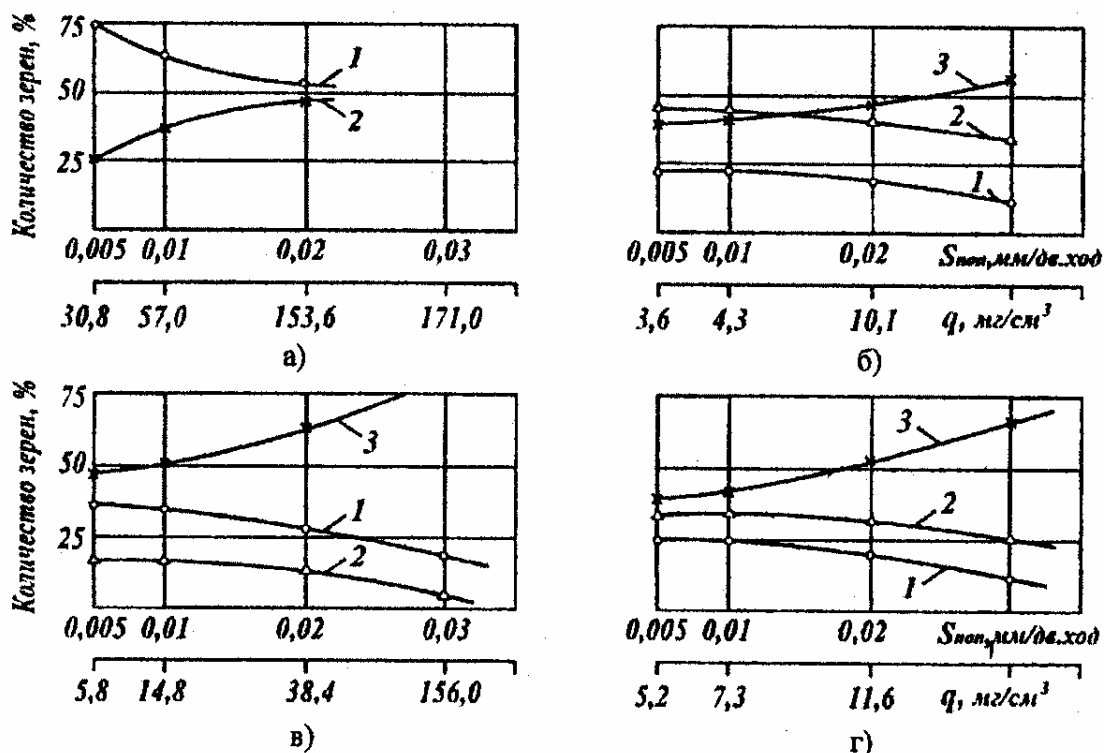


Рис. Характер износа кругов из различных марок алмазов и кубонита:
а – алмаз АС2 по стали ШХ15; б – алмаз АС15 по стали ШХ15;
в – кубонит КР по стали ШХ15; г – алмаз АС15 по стали Р12ФМ5;
1 – зерна со сколами; 2 – зерна с площадками износа; 3 – выпавшие зерна

Такая закономерность прослеживается для всех рассматриваемых пар «абразив – обрабатываемый материал». Для кругов из кубонита характерен незначительный процент зерен с площадками износа. Для кругов из прочных алмазов марки AC15 этот процент выше, а для менее прочных алмазов марки AC2 практически равен нулю. Это указывает на то, что алмазные зерна AC2 разрушаются и выпадают из связки, практически не претерпев линейного износа. Меньшему линейному износу зерен AC2 соответствует чрезвычайно высокий удельный расход алмаза, достигающий значений 153 мг/см^3 , тогда как при тех же условиях обработки кругом с алмазами AC15 удельный расход алмаза на порядок меньше (см. рис.). Из этого вытекает четкая корреляция между процентом зерен с площадками износа и удельным расходом алмаза. Наименьший удельный расход алмаза достигается при шлифовании кругом из AC15, затем в порядке возрастания – для AC6, AC4 и AC2.

Для иллюстрации сделанного вывода рассмотрим следующую зависимость: $P = \sigma S$. Вполне очевидно, что с ростом поперечной подачи увеличивается параметр S и предельное значение P (из условий прочности зерна), следуя приведенной зависимости, будет достигаться при меньших значениях σ . Физически это возможно при резании более острым зерном, т.е. когда величина линейного износа зерна x меньше. При фиксированном значении S (при заданной поперечной подаче) меньшее предельное значение P (для алмазов марки AC2) будет достигаться также при меньшем значении σ , что возможно при резании более острым зерном, т.е. когда величина линейного износа зерна x меньше. Следовательно, при постоянном предельном значении нагрузки на одно зерно P переменной величиной в процессе шлифования является величина износа x , которая и приводит к изменению удельного расхода алмаза. В работе [4] показано, что обработка более прочной стали P12Ф5М (по сравнению со сталью ШХ15) характеризуется меньшим процентом зерен с площадками износа и большим удельным расходом алмаза, т.е. разрушение и выпадение из связки зерен при обработке стали P12Ф5М происходит при меньшем их линейном износе, т.е. меньшем значении величины x . При шлифовании алмазными кругами на органических связках на зернах образуются меньшие по размерам площадки износа, чем при шлифовании алмазными кругами на металлических связках. Меньшим площадкам износа соответствует больший удельный расход алмаза.

Таким образом, удельный расход алмаза и параметр шероховатости Ra хорошо коррелируется с величиной линейного износа зерна x , соответствующей моменту его объемного разрушения или выпадения из связки без разрушения (в зависимости от механизма износа круга). Из проведенного анализа можно сделать вывод, что, изменяя величину x и P в процессе шлифования, применяя для этого соответствующие оптимальные режимы шлифования кругами из СТМ, появляется возможность в полной мере использовать режущие свойства круга и увеличить производительность обработки.

Реализация предложенного подхода стала возможной благодаря созданию комбинированного шлифования кругами из СТМ на металлической связке, основанного на введении в зону резания или автономно к кругу дополнительной электрической энергии (в форме электрических разрядов), позволяющего эффективно управлять параметрами режущей поверхности круга и, следовательно, регулировать в процессе шлифования физические параметры x и P . Применение комбинированных способов шлифования является одним из самых перспективных и эффективных направлений в расширении технологических возможностей шлифования труднообрабатываемых материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения: в 10 т. Т. 9. Проектирование технологических процессов в машиностроении / под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. Одесса: ОНГПУ, 2005. 584 с.
2. Малыхин, В.В. Высокопроизводительное алмазное электроискровое шлифование твердых сплавов совместно со сталью: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Малыхин В.В. Тула, 1986. 18 с.
3. Абразивно-алмазная обработка материалов: справочник / под ред. А.Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977. 390 с.
4. Захаренко, И.П. Сверхтвердые абразивные материалы в инструментальном производстве. Киев: Вища шк., 1985. 152 с.