

ПОВЫШЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОКОПРОВОДЯЩИХ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ ШЛИФОВАНИЯ ПСТМ

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, профессор;

И.Н. Пыжов, д-р техн. наук, профессор;

Д.М. Алексеенко, канд. техн. наук, доцент,*

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков;

**Сумский государственный университет, г. Сумы*

Наведені результати досліджень, спрямованих на пошук можливості підвищення ефективності процесу шліфування полікристалічних надтвердих матеріалів за рахунок якнайповнішого використання різального ресурсу алмазних зерен круга.

Ключові слова: процес формоутворення, комбінований процес шліфування, змінний тиск у контакті, алмазний круг, характеристика круга, різальний рельєф круга.

Приведены результаты исследований, направленных на изыскание возможности повышения эффективности процесса шлифования поликристаллических сверхтвердых материалов за счет наиболее полного использования режущего ресурса алмазных зерен круга.

Ключевые слова: процесс формообразования, комбинированный процесс шлифования, переменное давление в контакте, алмазный круг, характеристика круга, режущий рельеф круга.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследования, выполненные ранее [1, 3, 4, 5], позволили выявить важную физическую особенность процесса шлифования поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ), заключающуюся в периодичности изменения значений выходных показателей обработки. Это явление характерно как для комбинированных [3], так и обычных процессов шлифования [4, 5] причем как кругами на металлических, так и органических связках. Периодичность процесса обработки свидетельствует о недостаточно полном использовании режущего ресурса алмазного круга. Ее устранение путем соответствующего подбора величины скорости принудительного удаления связки круга [3] не позволяет достаточно эффективно решить эту задачу, т.к. значительное число зерен выпадает из связки. Исследования по шлифованию ПСТМ предварительно вскрытым кругом, когда практически все зерна на его рабочей поверхности имеют острые микро - и субмикроромки, показывают [1, 2], что в начальный момент времени ($T=5-10$ с.) реализуется очень высокая производительность (например, для алмаза $Q=15-30$ мм/мин и более). Примечательно, что чем больше концентрация (в диапазоне $K=25-150\%$), тем выше начальное значение Q . Следовательно, путь, направленный на обеспечение возможности непрерывного самозатачивания зерен круга, имеющих концентрацию $K=100-150\%$, при одновременном увеличении их числа в контакте с ПСТМ, является достаточно перспективным, поскольку это должно существенно повысить производительность шлифования при высоком коэффициенте использования режущего ресурса алмазных зерен.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является изыскание возможности повышения эффективности процесса шлифования ПСТМ за счет наиболее полного использования режущего ресурса алмазных зерен круга.

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установлено, что если, например, в процессе шлифования ПСТМ приложить дополнительную нагрузку $P_{дон}$, то процесс самозатачивания зерен начнется при меньшем значении их высоты выступания, а следовательно, при большем числе их в контакте. Контрольные эксперименты показали, что наиболее эффективно этот процесс реализуется в случае приложения дополнительной нагрузки с некоторым ударом: производительность обработки повышается в 1,5-2 раза при одновременном снижении во столько же раз удельного расхода алмазов круга и себестоимости обработки (при $K=100\%$). В связи с этим был предложен способ шлифования ПСТМ с переменным давлением в контакте, осуществляемый путем целенаправленного периодического изменения усилия прижатия образца к кругу. Установлено, что достаточно хорошие результаты могут быть получены в случае, когда изменение усилия (а следовательно, и давления в контакте) производится с инфразвуковой частотой. Суть способа заключается в следующем (рис. 1).

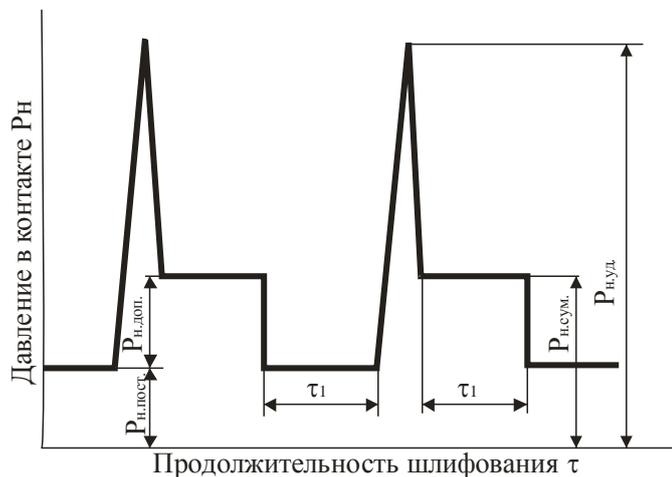


Рисунок 1 - Схема изменения давления в контакте ПСТМ с алмазным кругом в процессе шлифования

Вначале в течение времени τ_1 производят шлифование с постоянным давлением в контакте $P_{\text{пост}}$, затем с некоторым ударом прикладывают дополнительную нагрузку $P_{\text{доп}}$, создавая таким образом давление в контакте $P_{\text{н.уд}}$, после чего в течение времени τ_2 осуществляют обработку с суммарным давлением в контакте $P_{\text{н.сум}}$, которое вызвано совместным действием постоянной и дополнительной нагрузок. По истечении времени дополнительную нагрузку снимают, и процесс повторяют вновь. На рис. 2 представлена одна из возможных схем устройства, реализующего предложенный способ.

Постоянное давление ($P_{\text{н.пост}}$) в зоне контакта обрабатываемого ПСТМ 3 с рабочей поверхностью алмазного круга 1 осуществляется с помощью груза 6 через плунжеры 4 и 5. Дополнительный груз 7 (создающий дополнительное давление $P_{\text{доп}}$), установленный на направляющих качения, перемещается в верхнее положение с помощью специального кулачка 8, который приводится во вращение электродвигателем 10 через редуктор 9. Профиль кулачка выполнен таким образом, что перемещение груза 7 вниз осуществляется путем его практически свободного падения. Во время подъема груза 7 обрабатываемый ПСТМ подвергается обработке при величине давления в контакте $P_{\text{н.пост}}$ в течение времени τ_1 (рис. 1). Однако как только штанга толкателя выйдет из контакта с кулачком 8, начинается перемещение груза 7 с ускорением, близким к ускорению свободного падения, в результате чего он ударяет по грузу 6, что создает определенную величину мгновенного (ударного) давления в контакте $P_{\text{н.уд}}$. Затем в течение времени τ_2 шлифование осуществляется с суммарным давлением $P_{\text{н.сум}}$, которое обеспечивается одновременным действием грузов 6 и 7. После этого вновь производится подъем груза 7 и процесс повторяется.

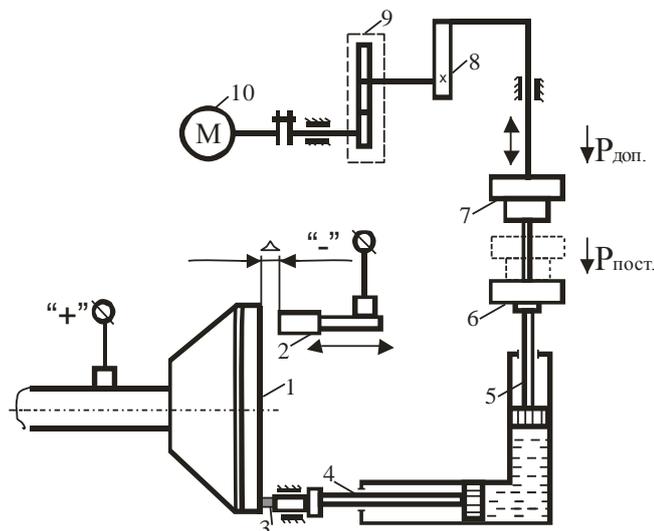


Рисунок 2 - Схема лабораторного устройства для осуществления способа шлифования ПСТМ с переменным давлением в контакте:

1 - алмазный круг; 2 - автономный катод; 3 - обрабатываемый ПСТМ; 4, 5 - плунжеры; 6, 7 - грузы; 8 - кулачок; 9 - редуктор; 10 - электродвигатель

Основным назначением ударного приложения дополнительной нагрузки является создание в зоне шлифования условий, способствующих активации процесса микроразрушения зерен и исключаящих образование на них площадок износа или существенно уменьшающих период времени, в течение которого они существуют. Регулировка величины давления в контакте в момент удара может осуществляться как путем подбора соответствующего веса дополнительного груза, так и высоты (амплитуды) его падения.

Разработанный вариант устройства оказался весьма удобным для установления необходимых параметров приложения ударной нагрузки при проведении лабораторных исследований. Были проведены сравнительные испытания работоспособности одного и того же круга с постоянным и переменным давлением в контакте. Шлифование производилось при выключенной цепи управления (собственно алмазное шлифование). Эффективность предложенного способа шлифования наглядно иллюстрируется данными, представленными на рис. 3, которые подтверждают факт возможности существенного повышения производительности обработки и снижения удельного расхода алмазов круга (в данном случае примерно в 2 раза). Объяснить это явление можно, используя зависимость рабочей высоты зерен от условий и продолжительности шлифования. Если при шлифовании с постоянной нагрузкой процесс обработки прекращается при высоте зерен $H=60$ мкм, то во втором случае лишь при $H=30$ мкм. Это означает, что не только увеличилось число зерен в контакте с ПСТМ, но вырос и коэффициент их использования.

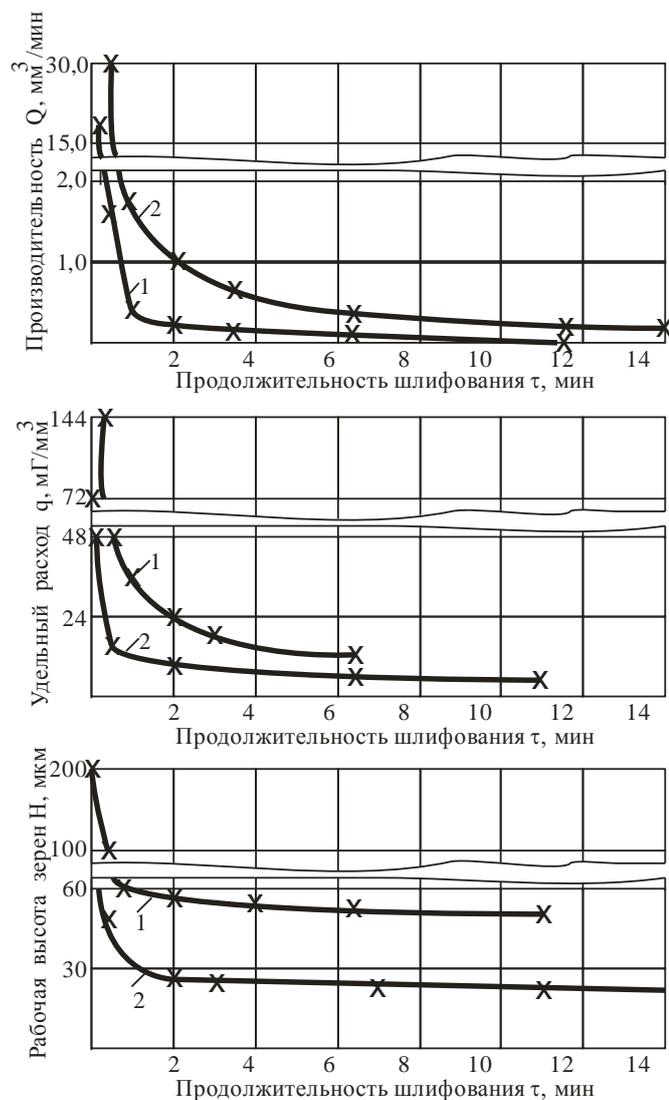


Рисунок 3 - Выходные показатели процесса шлифования ПСТМ диамет с постоянным (1) и переменным (2) давлением в контакте.

Условия обработки:

круг 12A2-45° 150x10x3x32 AC6 160/125 M1-01 100 %;

$V_{\text{в}} = 20 \text{ м/с}$; $S_{\text{г.д}} = 1 \text{ м/мин}$; $l = 0,04$;

1 - $P_{\text{г}} = 1,3 \text{ МПа}$;

2 - $P_{\text{г.г.д}} = 1,3 \text{ МПа}$; $P_{\text{д.г.д}} = 50 \text{ Н}$; $P_{\text{г.д.г.д}} = 2,6 \text{ МПа}$; $f = 5 \text{ Гц}$; $A = 6 \text{ мм}$

В то же время общий характер протекания процесса не меняется: через определенное время (в данном случае $\tau \approx 15$ мин) процесс самозатачивания зерен становится невозможным и сьем припуска с ПСТМ затухает. Увеличение дополнительной нагрузки позволяет снова активизировать режущую способность круга (рис. 4, кривая 3), однако через некоторое время процесс шлифования вновь трансформируется в процесс трения пары «обрабатываемый ПСТМ - алмазные зерна», имеющей чрезвычайно высокую износостойкость.

При определенной величине нагрузки $P_{\text{дон}}$ может наступить момент, когда все зерна, находящиеся на рабочей поверхности круга, войдут в контакт с ПСТМ. При этом неизбежен контакт поликристалла со связкой круга. В этих условиях [4, 5] для обеспечения самозатачивания круга необходимы высокие силовые нагрузки,

что недопустимо с позиции обеспечения требуемого качества обработки ПСТМ. Следовательно, только в условиях непрерывного управления режущим рельефом круга (комбинированные процессы шлифования) можно осуществлять процесс активации его режущей поверхности при величинах нагрузок в зоне шлифования, допустимых с точки зрения исключения растрескивания и расслаивания ПСТМ.

В предложенном способе обработки ПСТМ с переменным давлением в контакте сохраняются все положительные качества, которыми обладает "упругая" схема шлифования.

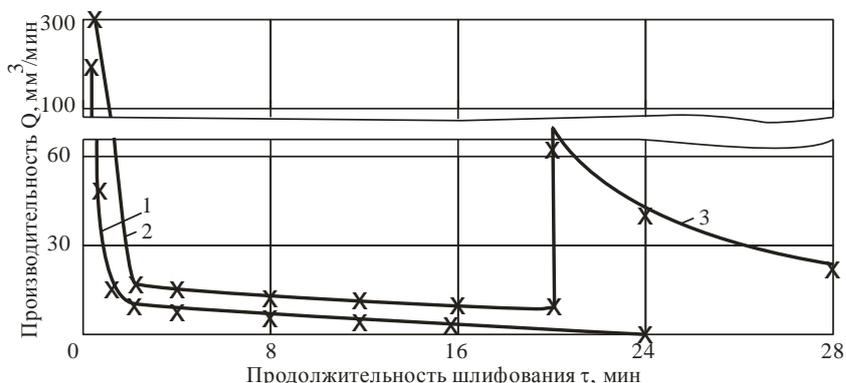


Рисунок 4 - Показатели процесса шлифования ПСТМ К10Д с постоянным и переменным давлением в контакте. Условия обработки:

круг 12A2-45° 150x10x3x32 AC6 160/125

M1-01 100 %, $V_{\delta} = 20 \text{ м/с}$; $S_{\tau \delta} = 1 \text{ м/мин}$; $I = 0 \text{ А}$; $S_{\delta} = 27 \text{ мм}^2$;

1 - $P_{i \tau \delta} = 0,8 \text{ МПа}$; 2 - $P_{i \tau \delta} = 0,8 \text{ МПа}$; $P_{\text{аф}} = 10 \text{ Н}$;

3 - $P_{\text{аф}} = 50 \text{ Н}$; $f = 5 \text{ Гц}$; $A = 6 \text{ мм}$

Т.е. независимо от величины скорости удаления связки круга в автономной зоне давление в контакте изменяется по заданной программе и не может самопроизвольно увеличиваться до опасной величины (как это может произойти при использовании «жесткой» схемы шлифования), что позволяет гарантированно исключить брак ПСТМ, вызываемый условиями обработки.

Для проверки эффективности способа шлифования с переменным давлением в контакте в условиях управления режущим рельефом кругов были проведены соответствующие эксперименты (рис. 5): 1) шлифование с постоянным давлением в контакте при $P_{\text{пост}} = 70 \text{ Н}$ ($P_{\text{доп}} = 0$); 2) шлифование с переменным давлением в контакте при $P_{\text{пост}} = 30 \text{ Н}$, $P_{\text{доп}} = 40 \text{ Н}$ ($P_{\text{сум}} = 70 \text{ Н}$, предложенный способ); 3) шлифование с постоянным давлением при $P_{\text{пост}} = 100 \text{ Н}$.

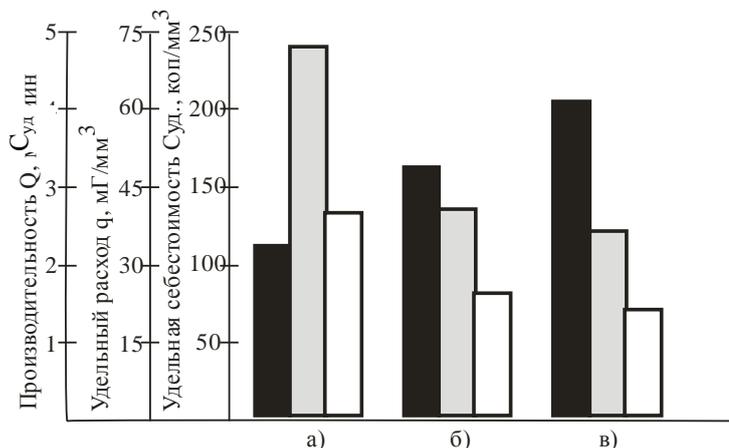


Рисунок 5 - Выходные показатели процесса шлифования СКМ-Р с постоянным (а, б) и переменным (в) давлением в контакте:

■ - $Q; C_{\text{уд}}$; □ - $C_{\text{уд}}$.

Условия обработки: круг 12A2-45° 150x10x3x32 AC6 160/125

M1-01 100 %, $V_{\delta} = 20 \text{ м/с}$; $S_{\tau \delta} = 1 \text{ м/мин}$; $I = 70 \text{ А}$; $S_{\delta} = 20 \text{ мм}^2$

а) $P_{i \tau \delta} = 70 \text{ Н}$; б) $P_{i \tau \delta} = 100 \text{ Н}$; в) $P_{i \tau \delta} = 40 \text{ Н}$; $P_{\text{аф}} = 30 \text{ Н}$; $f = 5 \text{ Гц}$; $A = 6 \text{ мм}$

В первом и последнем случаях давления в контакте были умышленно выбраны соответственно равным и большим, чем суммарное давление во втором случае.

Как видно из данных, представленных на рис.5, предложенный способ шлифования обеспечивает повышение производительности обработки примерно в 1,8 и в 1,3 раза по сравнению со шлифованием по первому и третьему способам соответственно. Удельный расход алмазов снизился соответственно в 1,9 и в 1,2 раза. В целом это позволило уменьшить себестоимость обработки соответственно в два и 1,2 раза.

Следовательно, такой процесс может быть эффективно применен для шлифования поликристаллических сверхтвердых поликристаллов, и особенно на основе алмаза, обладающих самой высокой трудоемкостью обработки.

Основываясь на полученных положительных предварительных результатах, было сделано предположение, что в условиях комбинированных процессов шлифования влияние условий приложения дополнительной нагрузки на выходные показатели предложенного способа шлифования (в отличие от обычного шлифования) должно быть более активным.

Основными параметрами условий приложения дополнительной нагрузки являются ее величина $P_{доп}$, амплитуда A и частота f . Поскольку они определяют интенсивность воздействия на алмазные зерна круга, то их роль в процессе шлифования в сочетании со скоростью удаления связки круга в автономной зоне должна быть определяющей. Можно предположить, что увеличение значений названных выше показателей будет приводить к повышению эффективности процесса. Это подтверждается данными, представленными на рисунках 6, 7 и 8. В частности, рост величины дополнительной нагрузки с 0 до 100Н (рис. 6 а) приводит к повышению производительности шлифования с 1,5 до 10,5 мм³/мин, т.е. в 7 раз, при одновременном снижении удельного расхода алмазов круга с 45 до 9 мг/мм³, т.е. в 5 раз. В результате этого удельная себестоимость процесса падает с 10,5 до 1,5 коп/мм³, т.е. примерно в 7 раз.

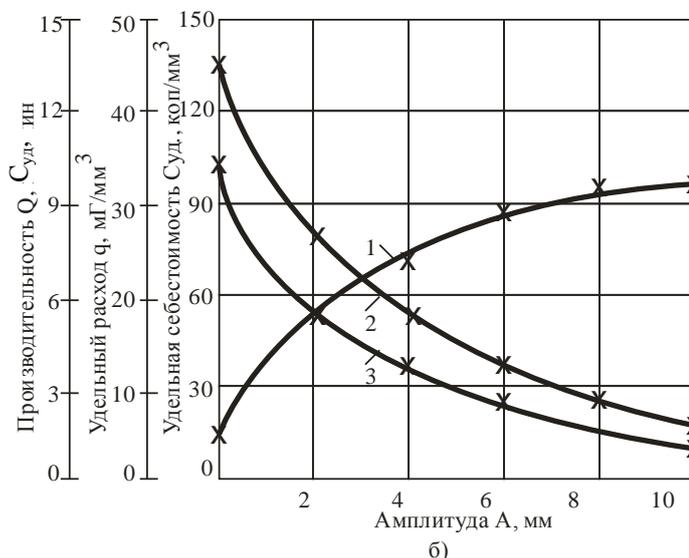
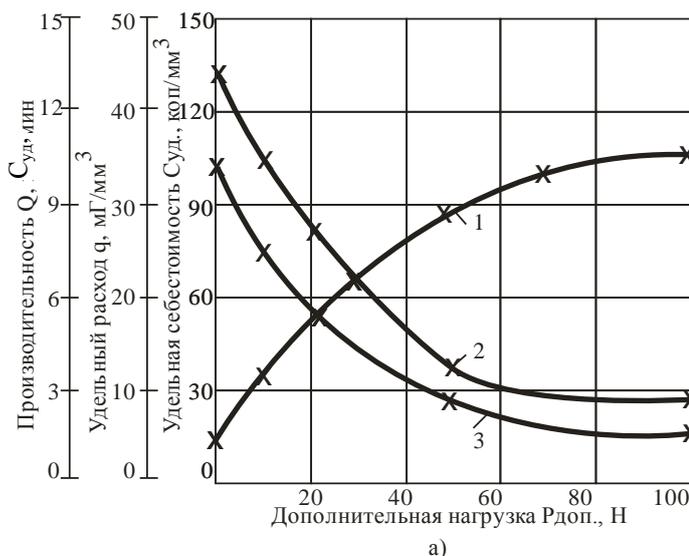


Рисунок 6 - Влияние величины (а) и амплитуды (б) нагрузки в условиях шлифования ПСТМ диаметром с переменным давлением в контакте:

1 - Q ; 2 - q ; 3 - $C_{уд}$;

Условия обработки: круг 12A2-45° 150x10x3x32 AC6 100/80

MI-01 100 %, $V_{\text{с}} = 20 \text{ м/с}$; $S_{\text{г}} = 1 \text{ м/мин}$; $I = 55 \text{ А}$; $S_{\text{с}} = 37 \text{ мм}^2$.

а) $P_{\text{доп}} = 1,3 \text{ МПа}$; б) $P_{\text{доп}} = 50 \text{ Н}$; $f = 5 \text{ Гц}$; $A = 6 \text{ мм}$;

Аналогичные результаты получены и при увеличении амплитуды A , что вполне закономерно, поскольку с ее ростом изменяется мгновенное давление в контакте $P_{н,уд}$ аналогично изменению $P_{доп}$ при $A = \text{const}$ (рис. 6 б).

Наиболее эффективное влияние на процесс шлифования оказывает частота f приложения дополнительной нагрузки (рис. 7 а). Ее увеличение с 0 до 10 Гц обеспечивает рост производительности с 1,5 до 12,7 мм³/мин. Это можно объяснить более стабильным микроразрушением алмазных зерен, что подтверждается

исследованиями периодичности изменения физических и технологических показателей обработки во времени, которая наиболее быстро вырождается именно с увеличением частоты приложения нагрузки. Здесь необходимо отметить, что хотя периодичность имеет место и в данном процессе, она носит значительно менее выраженный характер, что свидетельствует об интенсификации процесса микро- и макроразрушения алмазных зерен.

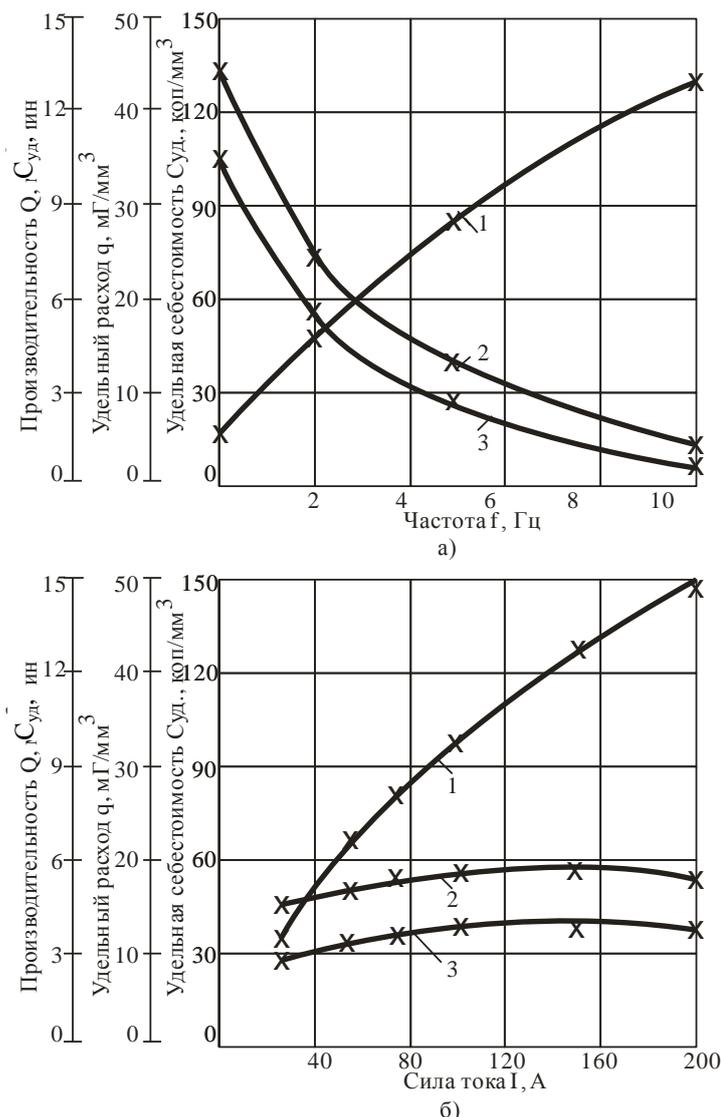


Рисунок 7 - Влияние частоты изменения дополнительной нагрузки (а) и силы тока в цепи управления (б) на выходные показатели обработки ПСТМ диамет: 1 - Q ; 2 - q ; 3 - $C_{уд.}$; а) $Z=100/80$; б) $Z=160/125$.

Условия обработки: круг 12A2-45° 150x10x3x32 AC6 100/80 M1-01 100 %, $V_{\theta} = 20\text{м/с}$; $S_{f\theta} = 1\text{м/мин}$; $I = 55\text{ А}$; $S_{\theta} = 37\text{ мм}^2$

$P_{f\theta} = 1,3\text{МПа}$; $P_{\theta} = 50\text{Н}$; $f = 5\text{Гц}$; $A = 6\text{мм}$

Что касается q и $C_{уд.}$, то в этом диапазоне частот их значения снижаются примерно в 10 раз. Дальнейшее увеличение частоты при больших значениях амплитуды было ограничено возможностью механической системы.

Учитывая сказанное и данные работы [6], можно заключить, что повышение эффективности обработки ПСТМ будет наблюдаться и при использовании ультразвуковых колебаний.

Однако, как известно, такие установки весьма сложные в эксплуатации и обслуживании и небезопасны для организма человека.

Значительный интерес представляет влияние силы тока в цепи управления (рис. 7) и характеристики алмазного круга (рис. 8) на выходные показатели предложенного процесса.

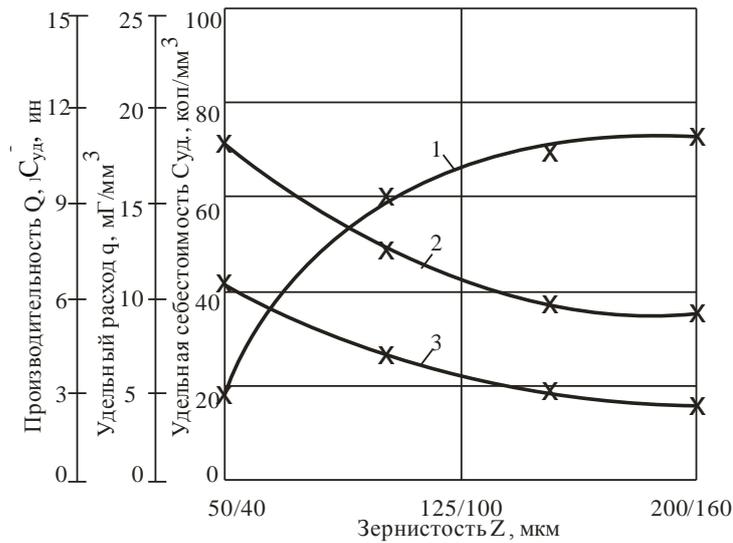
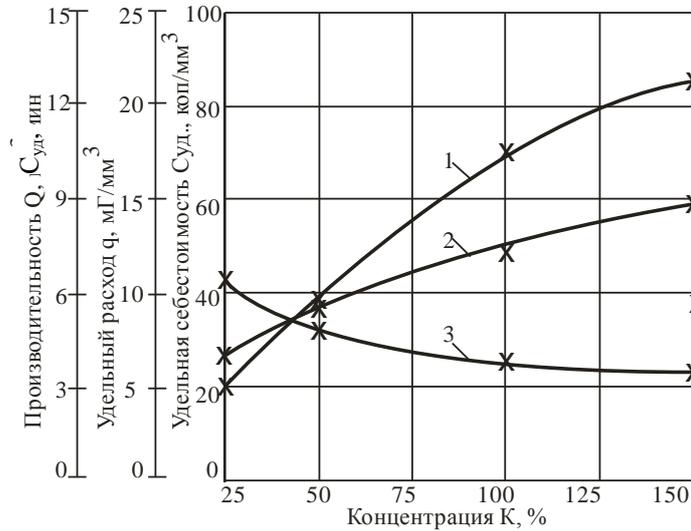


Рисунок 8 - Влияние характеристики круга на выходные показатели обработки ПСТМ диаметр: 1 - Q; 2 - q; 3 - C_{уд}; а) Z=160/125; б) K=100%.

Условия обработки: круг 12A2-45°150x10x3x32 AC6 100/80 M1-01 100 %, $V_{\text{с}} = 20 \text{ м/с}$; $S_{\text{f}} = 1 \text{ м/мин}$; $I = 55 \text{ А}$; $S_{\text{с}} = 87 \text{ мм}^2$;

$$P_{\text{f}} = 1,3 \text{ МПа}; P_{\text{a}} = 50 \text{ Н}; f = 5 \text{ Гц}; A = 6 \text{ мм}$$

Особое внимание в процессе шлифования с переменным давлением в контакте следует уделить силе тока в цепи управления, поскольку, как подчеркивалось выше, эффективность его проявляется только лишь при условии непрерывного удаления связки алмазного круга. Установлено, что отличительной особенностью процесса шлифования ПСТМ с переменным давлением в контакте является то, что удельный расход алмазов круга находится в меньшей зависимости от величины силы тока в цепи управления. Так, например, в диапазоне значений силы тока $I=25-200 \text{ А}$ при $I=200 \text{ А}$ $q=9-11 \text{ мг/мм}^3$ (рис. 7 б), в то время как производительность обработки резко возрастает (с $5 \text{ мм}^3/\text{мин}$ до $25 \text{ мм}^3/\text{мин}$). Таким образом, можно сказать, что в данном случае имеет место совпадение оптимальных значений производительности и удельного расхода алмазов круга, а следовательно, и себестоимости обработки ($C_{\text{уд}}=2,5 \text{ коп./мм}^3$), что на практике позволяет добиться резкого увеличения эффективности процесса.

Если сравнить эти данные с результатами экспериментов, представленных на рис. 3, то можно заключить, что производительность обработки в данном случае приближается к ее величине, полученной в начальный период шлифования открытым кругом.

Характеристика алмазного круга при шлифовании с переменным давлением в контакте оказывает такое же влияние, как и в обычном процессе: с ростом концентрации (рис. 8 а) увеличивается производительность обработки и удельный расход круга при одновременном снижении себестоимости. Однако значения этих показателей в несколько раз лучше, чем в обычном процессе шлифования.

Зернистость круга наиболее заметное влияние на Q, q и C_{уд}, оказывает в диапазоне значений Z=50/40-160/125, после чего их значения стабилизируются (рис. 8 б). Рост производительности с 3 до 10,5 мм³/мин и снижение q и C_{уд} (соответственно с 17,5 до 9 мг/мм³ и с 4 до 1,8 коп./мм³) с ее увеличением подтверждает особую роль зернистости в управляемом процессе шлифования,

установленную ранее [7]. Она состоит в том, что уменьшение Z при неизменной концентрации алмазов в круге снижает интенсивность самозатачивания зерен путем микроразрушения.

Таким образом, высокая эффективность процесса шлифования ПСТМ с переменным давлением в контакте позволяет рекомендовать его для широкого использования в практических условиях, что требует установления оптимальных условий его реализации. Учитывая тот факт, что увеличение всех параметров условий обработки однозначно ведет к снижению себестоимости процесса при одновременном росте производительности шлифования, можно рекомендовать в качестве оптимальных максимально возможные значения этих параметров с учетом накладываемых на них ограничений по браку ПСТМ из-за растрескивания и расслаивания, а также возможности практической реализации. Для общих условий обработки (круг 12A2-45° 150x10x3x32 AC6 M2-01; $V_k=20-30$ м/с; $S_{np}=1$ м/мин; $P_{н.пост}=1,3-2,5$ МПа; $S_k=37$ мм) эти параметры имеют следующие значения: $P_{доп}=50-60$ Н ($P_{н.доп}=1,5-2,0$ МПа); $A=5-6$ мм; $f=10$ Гц; $I=180-200$ А; $Z=160/125-200/160$; $K=100-150\%$. Лабораторные испытания показали, что стойкость режущих инструментов, заточенных предложенным способом, не ухудшилась.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

1. Установлено, что наибольшая эффективность управляемого процесса шлифования ПСТМ достигается в том случае, если при максимально возможном количестве алмазных зерен в контакте кругов 100-150-й концентрации создаются условия для их постоянного самозатачивания путем микро- и макроразрушения.

2. Наиболее эффективным способом, позволяющим обеспечить указанные выше условия, является шлифование с переменным давлением в контакте, величина которого изменяется с инфразвуковой частотой, при котором приложение дополнительной нагрузки осуществляется с некоторым ударом. Эффект при этом достигается лишь при условии непрерывности удаления связки круга в автономной зоне. Изменение параметров приложения дополнительной нагрузки позволяет обеспечивать одновременное повышение производительности шлифования, уменьшение удельного расхода алмазов круга и удельной себестоимости обработки в 5-7 раз.

3. Установлена особая роль силы тока в цепи управления при шлифовании с переменным давлением в контакте, которая заключается в том, что при ее увеличении в диапазоне 40-200 А удельный расход алмазов круга остается практически неизменным, в то время как производительность обработки возрастает более чем в 5 раз, т.е. имеет место совпадение оптимальных значений этих параметров. Это позволяет в несколько раз снизить удельную себестоимость обработки.

4. Влияние характеристики круга при шлифовании с переменным давлением в контакте аналогично ее влиянию в обычном процессе, однако степень этого влияния возрастает в несколько раз.

В дальнейшем представляет интерес разработка конструкции устройства для реализации способа применительно к промышленным условиям.

SUMMARY

THE CAPACITY INCREASING OF CURRENT CONDUCTING DIAMOND WHEELS IN COMBINED GRINDING PROCESSES OF PSHM

A. I. Grabchenko, I. N. Pyzhov, D. M. Alekseenko,
National Technical University "Kharkiv Politechnical Institute", Kharkiv
Sumy State University, Sumy

The results of investigation which aimed at identifying opportunities for improvement of the efficiency of the grinding process of polycrystalline superhard materials due to the full utilization of cutting resource of diamond wheel grains are presented.

Key words: forming process, combined grinding process, alternating pressure in contact, diamond wheel, wheel characteristic, cutting relief of wheel.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / А.И. Грабченко/ - Харьков: Вища школа, 1985. - 184 с.
2. Семко М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, М.Г. Ходоревский. - Харьков: Вища школа, 1980. - 192 с.
3. Грабченко А.И. Повышение производительности шлифования ПСТМ с управлением режущим рельефом круга / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов // Сверхтвердые материалы. - 1982. - № 5. - С. 34-37.
4. Грабченко А.И. Повышение эффективности алмазного шлифования поликристаллических СТМ в режиме самозатачивания / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов // Сверхтвердые материалы. - 1983. - № 5. - С. 34-38.
5. Грабченко А.И. Особенности контактного взаимодействия алмазных кругов с СТМ при шлифовании / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов // Контактные процессы при больших пластических деформациях. - Харьков: Вища школа, 1982. - С. 33-37.
6. А.с. № 831483 СССР. Способ ультразвуковой электроалмазной обработки / Мойсеенко Г.Н. - Оpubл. в Б.И. 1981, № 19.
7. Грабченко А.И. Роль характеристики алмазного круга в комбинированных процессах алмазного шлифования ПСТМ / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, Д.М. Алексеевко. - Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. - 2010. - Т.1, №3 - С. 38-48.

Поступила в редакцию 8 февраля 2011 г.