

**А.М. Кузей, д.т.н., зав. лаб.**

**А.В. Францкевич, н.с.**

*Физико-технический институт НАН Беларуси*

## **АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ ВЯЗКИХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЖИМЕ САМОСМАЗЫВАНИЯ**

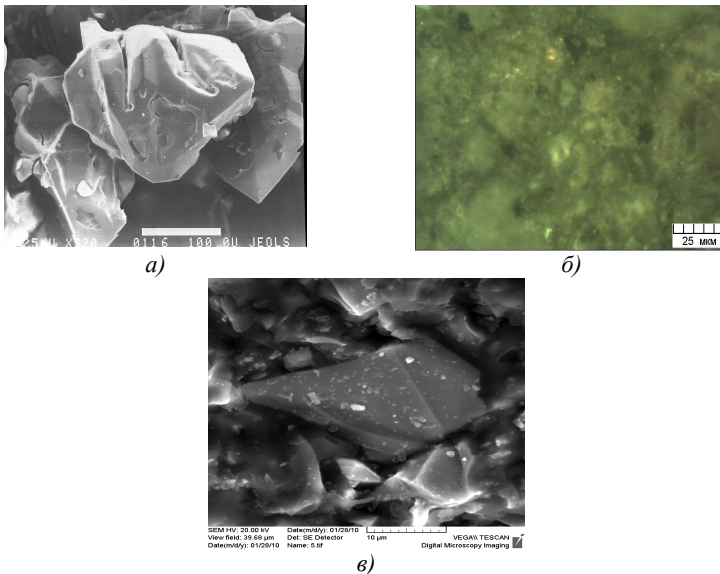
*Методами оптической, электронной микроскопии изучены микроструктуры и морфологии поверхностей износа алмазоабразивных композиционных материалов на полимерном связующем, содержащем поверхностно-активные вещества. Показано, что введение поверхностно-активных веществ в матрицу композиционных материалов, подавляет взаимодействие композиционного материала с титановым сплавом и сталью, что позволяет стабилизировать режим шлифования.*

**Введение.** Оптимум эксплуатационных характеристик алмазоабразивного инструмента (минимальные значения удельного расхода алмаза при стабильном, максимальном значении производительности шлифования) достигается в некотором узком диапазоне режимов шлифования. Этот режим («самозатачивание») обеспечивается согласованием скоростей износа матрицы (связки) алмазосодержащего композиционного материала и разрушения алмазных зерен, в результате которого на поверхности композиционного материала поддерживается некоторая «оптимальная» для данных условий обработки, концентрация алмазных зерен, участвующих в процессе резания [1–4]. Основными факторами, приводящими к дестабилизации режима шлифования, является преимущественное разрушение и выкрашивание алмазных зерен, обнажающих связку и взаимодействие обрабатываемого материала с композиционным материалом. Это взаимодействие приводит к формированию слоя продуктов износа на поверхности композиционного материала и прекращению процесса резания [3–5]. Наиболее интенсивное взаимодействие отмечается при алмазоабразивной обработке жаропрочных никелевых, железоникелевых и титановых сплавов [6]. Алмазоабразивная обработка таких материалов представляет значительные сложности и осуществляется в основном композиционными материалами с нитридом бора на керамических, полимерных матрицах [3, 4].

Одним из методов подавления контактного взаимодействия материалов при шлифовании является применение поверхностноактивных веществ (ПАВ) не только в составе

смазующе-охлаждаючих жидкостях, но и в составе абразивных материалов [7, 8]. Целью работы являлось изучение процессов протекающих при обработке титанового сплава (BT-8) и стали (40ХНМА) алмазобразивным инструментом с ПАВ.

**Материалы и методики исследований.** В качестве ПАВ применяли дистеаратэтиленгликоля и полидиметилсилоксан. Носителем ПАВ являлся композиционный порошок карбид бора – полимер. В качестве алмазобразивного инструмента использовались круги формы 1А1 (150 x 5 x 6 x 32) с концентрацией алмазного порошка АС-6 80/63 100 и 200 % (25 и 50 об. %). Алмазные порошки плакированы слоем карбидом кремния толщиной 3–6 мкм (рис. 1, а). Пластины титанового сплава и стали, шлифовали на заточном станке ЗЕ642 модели в присутствии смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

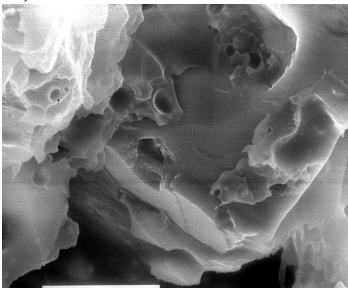


*Рис. 1. Морфология поверхности плакированного карбидом кремния алмазного зерна (а) и микроструктура матрицы композиционного материала B<sub>4</sub>C полимер–алмаз (б, в); б – микроструктура композиционного материала B<sub>4</sub>C–полимер–алмаз (100 %); в – морфология поверхности разрушения композиционной гранулы карбид бора – полимер*

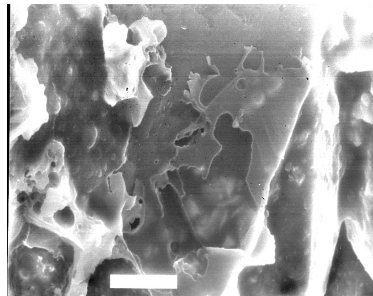
Удельный расход алмаза определяли по методике ГОСТ 16181–82. Матрицами алмазосодержащих материалов являются композиционные материалы систем карбид бора (70 об. %) – полимер (30 об. %), карбид кремния (70 об. %) – полимер (30 об. %). В качестве полимера использовали эпоксидиановую смолу ЭД–20.

**Результаты и их обсуждение.** Алмазообразивные композиционные материалы систем карбид бора – полимер – алмаз и карбид кремния – полимер – алмаз имеют аналогичное строение. Матрица (связка) таких материалов состоит из гранул представляющих собой частицы карбида, объединенные прослойками полимера, а гранулы в свою очередь объединены в матрицу прослойками полимера, содержащего ультрадисперсные (0,1–1 мкм) частицы карбидов кремния, бора (рис. 1, в, з). Поверхностно-активные вещества присутствуют в гранулах, в прослойках полимера и в свободном состоянии (в порах, гранул). Несмотря на отсутствие взаимодействия ПАВ с полимером пленки полимера имеют достаточно высокую адгезию к алмазным зернам и частицам карбида бора и карбида кремния (рис. 1, б, в; 2, а, б). Предел прочности на сжатие композиционных материалов систем карбид бора – полимер (ПАВ – дистеаратэтиленгликоля) – алмаз (25 и 50 об. %) составляет 310 и 460 МПа, композиционных материалов с полидиметилсилоксаном – 260 и 390 МПа. Предел прочности композиционных материалов системы карбид кремния – полимер – алмаз (25 и 50 об. %) содержащих в качестве ПАВ дистеаратэтиленгликоля составляет 390 и 490 МПа, а с полидиметилсилоксаном – 315 МПа и 410 МПа. Разрушение композиционных материалов происходит как по прослойкам алмаза и карбида (рис. 2, а, б). На отдельных участках композиционного материала на поверхности алмазных зерен разрушение происходит по границам частиц наполнителя полимера, содержащего ПАВ (рис. 2, б).

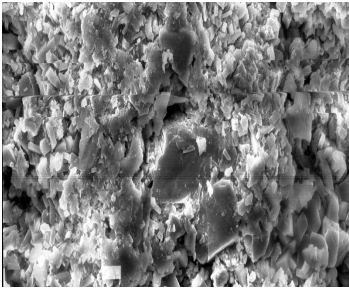
При обработке стали алмазообразивным инструментом с композиционным материалом системы карбид кремния – полимер (ПАВ – полидиметилсилоксан) – алмаз (50 об. %) с производительностью 100 мм<sup>3</sup>/мин. и 200 мм<sup>3</sup>/мин. образования на поверхности алмаза и матрицы слоев продуктов износа не отмечено. Удельный расход алмаза составил 10,4 и 14,7 мг/г.



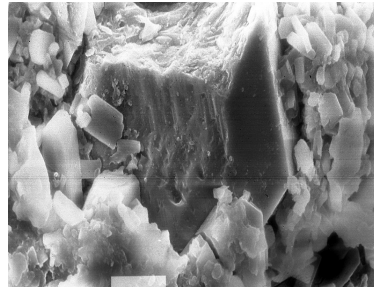
а)



б)



в)



г)

*Рис. 2. Морфология поверхностей разрушения (а, б) и износа (в, г) композиционного материала SiC – полимер–алмаз: а, б – концентрация алмазов в матрице 100 и 200 % соответственно; в, г – концентрация алмазного порошка в матрице 200 и 100 % соответственно, производительность шлифования стали – 400 мм<sup>3</sup>/мин.*

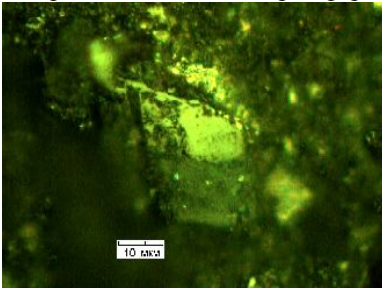
При обработке стали алмазобразивным инструментом с композиционным материалом, содержащим 25 % об. алмазных зерен, образования слоя из продуктов износа на поверхности композиционного материала также не отмечено. Удельный расход алмаза составил 26,6 и 30 мг/г при производительности шлифования 100 и 200 мм<sup>3</sup>/мин., соответственно.

При шлифовании стали в течение 25 минут композиционным материалом карбид кремния – полимер – алмаз (50 об. %) с производительностью 400 мм<sup>3</sup>/мин., на поверхности алмазных зерен образуются гладкие площадки износа, прослойки полимера между частицами карбида кремния изношены, часть алмазных зерен выкрошены (рис. 2, в). Удельный расход алмаза составил 50,6 мг/г. Удельный расход алмаза при шлифовании стали композиционным материалом с 25 об. % алмазных зерен составила 74,2 мг/г. Часть алмазных зерен разрушена, часть зерен выкрашилась. В продуктах износа наряду с осколками присутствуют и частично изношенные алмазные зерна (~16–18 мас %). Прослойки полимера между частицами карбида кремния и алмазными зернами изношены, между ними образованы канавки (рис. 2, в, г).

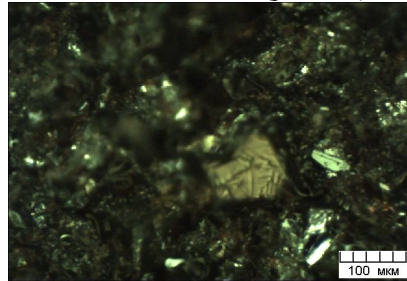
Применение алмазосодержащих композиционных материалов системы карбид кремния–полимер–алмаз (25 и 50 об. %), содержащих дистеаратэтиленгликоля не значительно снижает удельный расход

алмаза при производительностях шлифования 100, 200 мм<sup>3</sup>/мин. Более значительное снижение удельного расхода алмаза отмечается у композиционного материала с 50 об. % алмаза при производительности шлифования 400 мм<sup>3</sup>/мин. Удельный расход алмаза достигает 37,6 мг/г. При отсутствии ПАВ в композиционных материалах процесс шлифования дестабилизируется уже при производительности шлифования 100 мм<sup>3</sup>/мин. После 7–10 минут шлифования отмечается снижение режущей способности, затем (через 15–20 минут) процесс резания прекращается.

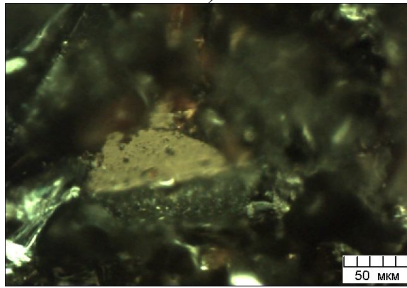
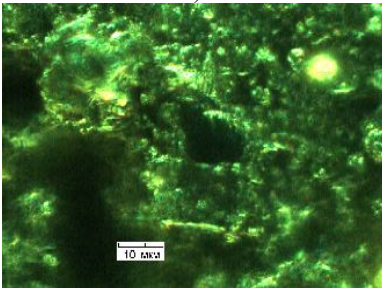
Шлифование стали инструментом с композиционным материалом (ПАВ-дистеаратэтиленгликоль) системы карбид бора–полимер–алмаз (25, 50 об. %) в области производительностей шлифования 100, 200 мм<sup>3</sup>/мин. протекает стабильно, без изменения режущей способности. Удельный расход алмаза для композиционных материалов с 25 и 50 об. % алмазного порошка, при производительностях шлифования 100 и 200 мм<sup>3</sup>/мин. составил 31,9; 36,4 мг/г и 16,4; 19,7 мг/г, соответственно. Для композиционных материалов с полидиметилсилоксаном удельный расход алмаза увеличивается до 36,3; 48,4 мг/г и 19,2; 23,6 мг/г, соответственно для производительностей шлифования 100 и 200 мм<sup>3</sup>/мин. На поверхности композиционных материалов формируется рельеф, микровыступы которого образованы гранулами (рис. 3, а). На поверхности алмазных зерен формируются площадки износа (рис. 3, б).



а)



б)



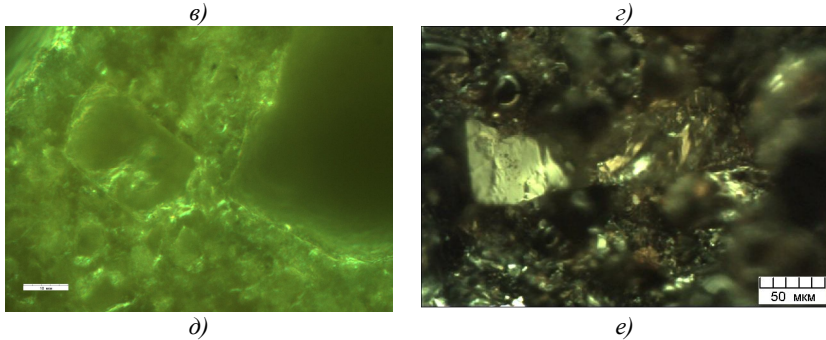


Рис. 3. Морфологія поверхностей износа композиционного материала карбид бора – полимер – алмаз: а – композиционный материал карбид бора – алмаз (25 %) – полимер; производительность шлифования стали 200 мм<sup>3</sup>/мин.; б – то же. ПАВ – дистеаратэтиленгликоль;

в, г – композиционный материал карбид бора – алмаз (50 об.%) – полимер. ПАВ – полидиметилсилоксан; производительность шлифования стали 400 мм<sup>3</sup>/мин.; д – композиционный материал карбид бора – полимер – алмаз (25 об.%) ; производительность шлифования ВТ-8 – 200 мм<sup>3</sup>/мин.; е – то же, композиционный материал карбид бора – полимер – алмаз (50 об.%) ; производительность шлифования – 400 мм<sup>3</sup>/мин.

Тем не менее, процесс шлифования протекает стабильно, без изменения режущей способности. При увеличении производительности шлифования до 400 мм<sup>3</sup>/мин., дестабилизации процесса не отмечено. Удельный расход алмаза составляет 59,3 и 43,2 мг/г, для концентраций алмазного порошка 25 и 50 об. %, соответственно. Износ композиционного материала происходит за счет преимущественного разрушения гранул из карбида бора. Часть алмазных зерен разрушена, на остальных образуются площадки износа (рис. 3, в, г). При отсутствии ПАВ в композиционных материалах дестабилизация процесса шлифования, как периодическое снижение режущей способности, отмечается уже при производительности 100 мм<sup>3</sup>/мин. При производительности шлифования 200 мм<sup>3</sup>/мин. – процесс шлифования прекращается через 10–20 минут (для концентрации алмазного порошка 25 и 50 об. %, соответственно). На поверхности алмазных зерен образуются наросты из продуктов износа (рис. 3, а).

При шлифовании сплава ВТ-8 композиционными материалами системы карбид бора–полимер–алмаз (с 25 и 50 об. %) содержащими ПАВ (дистеаратэтиленгликоля, полидиметилсилоксан), стабильный

режим сохраняется при производительностях шлифования 100 и 200 мм<sup>3</sup>/мин. Рельеф на поверхности композиционных материалов сглажен (рис. 3, д). Алмазные зерна изношены, прослойки полимера и гранулы карбида бора изнашиваются с близкими скоростями (рис. 3, д). В области более высоких производительностей шлифования (300 мм<sup>3</sup>/мин.) стабильный режим шлифования обеспечивает композиционный материал с 50 об. % алмазного порошка. Удельный расход алмаза (для композиционного материала с 50 об. % алмаза в качестве ПАВ-дистеаратэтиленгликоля) составляет 58,7 мг/г. Гранулы из карбида бора разрушены, износ прослоек полимера и гранул происходит с близкими скоростями (рис. 3, е).

В отсутствии СОЖ процесс шлифования периодически дестабилизируется при производительности шлифования 200 мм<sup>3</sup>/мин. Удельный расход алмаза (200 мм<sup>3</sup>/мин.) составляет 94,6 мг/г. На поверхности композиционного материала снижается количество алмазных зерен (рис. 3, з).

Композиционные материалы системы карбид кремния–полимер–алмаз (25 и 50 об. %) позволяет обрабатывать и ВТ-8. Удельный расход алмаза для композиционных материалов с 25 и 50 об. %, концентрацией алмаза для производительностей обработки 100 и 200 мм<sup>3</sup>/мин. составляют 60,1; 79,7 мг/г и 37,4; 47,6 мг/г.

При производительности шлифования 400 мм<sup>3</sup>/мин. стабильный режим шлифования сохраняется только для композиционного материала с 50 об. % алмазных зерен, содержащего в качестве ПАВ полидиметилсилоксан. Удельный расход алмаза составляет 90,6 мг/г. Часть изношенных алмазных зерен сохраняется в матрице, часть выкрашивается.

В отсутствии СОЖ процесс шлифования дестабилизируется при производительности шлифования 100 мм<sup>3</sup>/мин. (25 об. % алмазных зерен). Композиционный материал с 50 об. % алмазных зерен, периодически изменяет режущую способность. Удельный расход алмаза достигает 76,0 мг/г.

Закономерности изменения удельного расхода алмаза, режимов шлифования стали 40ХНМА и титанового сплава ВТ-8 алмазообразивным инструментом показывают, что, на механизмы износа влияют ПАВ, как присутствующие в алмазосодержащем композиционном материале, так и в СОЖ. Их действие проявляется как подавление контактного взаимодействия обрабатываемого и обрабатывающего материалов. В присутствии СОЖ действие ПАВ в композиционных материалах более эффективно. Причиной этого является более полное удаление продуктов износа, охлаждение зоны

резания и усиление «барьерного» эффекта, способствующего отделению продуктов износа от поверхностей композиционного материала. Так как оба применяемых ПАВ не растворимы в воде (основе СОЖ), то усиление их действия можно связать с дополнительным количеством инертных веществ, вводимых в зону резания. Различная эффективность композиционных материалов обусловлена, и свойствами наполнителей (карбидов кремния бора), определяющих их физико-механические характеристики.

Закономерность изменения показателей удельного расхода алмаза при обработке композиционными материалами систем карбид кремния–полимер–алмаз, карбид бора–полимер–алмаз, стали и сплава ВТ-8 показывает, что алмазоабразивные материалы с карбидом бора, обеспечивают более стабильный режим шлифования, хотя и при более высоком удельном расходе алмаза. Износ композиционных материалов с карбидом бора в процессе шлифования на микроскопическом уровне (1–5 мкм) происходит неравномерно: композиционные гранулы с более высокой концентрацией частиц карбида бора выступают над поверхностью матрицы (связки). Частицы карбида бора в гранулах участвуют в процессе резания. Непрерывно разрушаясь, они, формируют новые острые вершины. Ультрадисперсные продукты износа матрицы (частицы карбида бора, полимера содержащие ПАВ) удаляют частицы (микростружку) металлов с поверхности алмазных зерен и поверхности матрицы. На это указывает морфология поверхностей износа и образование канавок между частицами наполнителей (рис. 2, в, з; 3, б, в).

Износ композиционных материалов с карбидом кремния происходит в основном не за счет постепенного разрушения частиц карбида кремния, при непрерывном скалывании с поверхности микроскопических частиц, а из-за выкрашивания из связки отдельных частиц. Острые кромки частиц карбида кремния сглаживаются, округляются (рис. 2, в). Износ поверхности композиционного материала происходит по прослойкам полимера (рис. 2, в, з). Удаление продуктов резания с поверхности происходит в основном при износе полимера и выкрашивания частиц карбида кремния. Поэтому композиционные материалы с карбидом кремния имеют меньший удельный расход алмаза, чем композиционные материалы с карбидом бора, однако обеспечивают меньшую производительность обработки. Большая износостойкость матрицы карбид кремния – полимер, чем карбид бора – полимер обеспечивает меньший удельный расход алмаза, инструмента с концентрацией алмазного порошка в композиционном материале 50 об. %.



**Выводы.** Введение ПАВ в алмазосодержащие композиционные материалы позволяет снизить их взаимодействие с титановым сплавом ВТ-8 и сталью 40ХНМФ, стабилизировать процессы их шлифования. Более низкие значения удельного расхода алмаза при использовании алмазосодержащих композиционных материалов с 200 % концентрацией алмазного порошка, чем со 100 % концентрацией позволяет использовать их для точной обработки деталей, особенно при малых съемах припуска.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. *Галицкий В.Н.* Алмазоабразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали / *В.Н. Галицкий, А.В. Курищук, В.А. Муровский.* – К. : Наукова думка, 1986. – 144 с.
2. *Мишинаевский Л.А.* Износ алмазных кругов / *Л.А. Мишинаевский.* – К. : Наукова думка, 1982. – 192 с.
3. *Захаренко И.П.* Алмазные инструменты и процессы обработки / *И.П. Захаренко.* – К. : Наукова думка, 1980. – 213 с.
4. *Семко М.Ф.* Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / *М.Ф. Семко, А.Н. Грабченко.* – Харьков : Вища школа, 1978. – 232 с.
5. *Гавриш А.П.* Высокие технологии при шлифовании магнитомягких сплавов / *А.П. Гавриш, Л.А. Солдатенко // Резание и инструмент.* – Харьков : ХГТУ, 1997. – № 57. – С. 24–28.
6. *Лавриненко В.И.* Электрошлифование инструментальных материалов / *В.И. Лавриненко.* – К. : Наукова думка, 1993. – 155 с.
7. *Лутинович Л.М.* Опыт применения полимерных материалов в абразивной промышленности / *Л.М. Лутинович, Х.Л. Мамин.* – М. : Наука, 1993. – 416 с.
8. *Тугов И.И.* Химия и физика полимеров / *И.И. Тугов, Г.И. Костикина.* – М. : Химия, 1989. – 432 с.

КУЗЕЙ Анатолий Михайлович – доктор технических наук, заведующий лабораторией физики поверхностных взаимодействий Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси».

Научные интересы:

– межфазное взаимодействие в гетерогенных системах.

Е-mail: [anatkuzei@mail.ru](mailto:anatkuzei@mail.ru)

ФРАНЦКЕВИЧ Алла Владимировна – научный сотрудник лаборатории физики поверхностных взаимодействий Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси».

Научные интересы:

– физико-механические свойства природных алмазов.

Е-mail: [anatkuzei@mail.ru](mailto:anatkuzei@mail.ru)

Подано 09.06.2011

