Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

Пути решения проблем формообразования режущего инструмента для обработки неметаллических композитов

Александр Янюшкин ^a, Дмитрий Лобанов ^{b, *}, Николай Мулюхин ^c

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, пр. Московский, 15, г. Чебоксары, 428015, Россия

^a <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>, yanyushkinas@mail.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>, lobanovdv@list.ru,
^c <https://orcid.org/0000-0003-2960-5567>, muliukhin@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 539.3:666.9-16:621.9

История статьи:

Поступила: 07 июня 2018
 Рецензирование: 05 июля 2018
 Принята к печати: 30 июля 2018
 Доступно онлайн: 15 сентября 2018

Ключевые слова:

Шлифование
 Численное моделирование
 Твердый сплав
 Режущий инструмент
 Поврежденность
 Качество
 Неметаллические композиты

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены тенденции развития и перспективы использования неметаллических композиционных материалов, их применение в технике, а также способы получения заготовок и деталей из подобных материалов. Приведен краткий сравнительный анализ методов обработки полимерных композитов, выявлено, что механический способ более универсален и широк в применении для резания неметаллических композитов. Обозначены трудности обработки композитов, связанные со свойствами материалов компонентов неметаллических композитов, откуда видно, что инструмент, обрабатывающий данную группу композитов, работает достаточно в сложных условиях, предъявляющих к инструменту особенно высокие требования по прочности, износостойкости, твердости и т. д. Кроме того, инструмент, предназначенный для обработки неметаллических композиционных материалов должен иметь специальные геометрические характеристики, отличающиеся от геометрии режущих элементов, служащих для обработки металлов. Данным требованиям удовлетворяют твердосплавные инструментальные материалы группы ВК. Однако получить качественную режущую кромку с такими геометрическими параметрами и механофизическими свойствами твердого сплава представляет достаточно большую трудность. В работе рассмотрены методы, использующиеся при заточивании твердосплавных режущих элементов, такие как традиционное алмазное шлифование; электрохимическое шлифование; алмазное шлифование с электрохимической правкой круга; комбинированное электроалмазное шлифование. **Цель работы.** Исследование состояния твердосплавной пластины после заточивания. **Методы исследования.** Приведена методика моделирования для определения поврежденности и напряженно-деформированного состояния режущей кромки твердосплавного инструмента после заточивания. Данная методика в основе своей использует модель разрушения Джонсона–Кука. **Результаты и обсуждение.** Представленная методика позволяет оценить указанные методы заточивания на предмет получения наиболее качественно заточенного режущего элемента для обработки неметаллических композиционных материалов. Применение данной методики позволит также сократить количество экспериментов на практике, что выгодно с экономической точки зрения.

Для цитирования: Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Мулюхин Н.В. Пути решения проблем формообразования режущего инструмента для обработки неметаллических композитов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 36–46. – doi: 10.17212/1994-6309-2018-20.3-36-46.

Введение

В современном мире в условиях бурного развития техники и технологий возникают сложные задачи, связанные с проектированием новых, усовершенствованием и модернизацией существующих конструкций и изделий. Вы-

сокие требования предъявляются в этом случае к конструкционным материалам, заключающиеся не только в повышении их эксплуатационных характеристик, но и уникальном сочетании свойств, что ведет к необходимости создания новых классов материалов. Традиционные конструкционные материалы порой неспособны обеспечить возрастающие требования, поэтому возникает острая проблема в поиске новых материалов. Решением данной проблемы стали композиционные материалы, в частности, особое распространение получили композиты с не-

*Адрес для переписки

Лобанов Дмитрий Владимирович, д.т.н., профессор
 Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
 пр. Московский, 15,
 428015, г. Чебоксары, Россия
 Тел.: +7-908-303-47-45, e-mail: lobanovdv@list.ru

металлической матрицей. В связи с развитием полимерных композитов появились новые задачи в области механической обработки резанием подобных материалов [1].

С появлением новых композиционных материалов с уникальными свойствами возникает проблема придания изделию точных форм и соблюдение более высоких технических требований. Формообразование готовых изделий и заготовок из полимерных композитов происходит в основном путем литья, прессования, штамповки и другими методами. Но зачастую придать конечную форму и обеспечить необходимые качественные показатели изделию на заготовительной стадии не удастся, так как усложнение конфигурации изделия существенно способствует усложнению и удорожанию конструкции формообразующей оснастки и, как следствие, самой технологии. С помощью заготовительных операций не всегда возможно добиться соответствующих технических требований (шероховатость, точность размеров и взаимное расположение ответственных и сопрягаемых поверхностей и т.д.), что существенно снижает срок службы сопрягаемых подвижных деталей в сборке.

Формообразование деталей из полимерных композитов механическим резанием – более универсальный и рациональный метод [2, 3]. Например, лазерная резка способствует термическому повреждению материала, падению эффективности с ростом числа слоев многослойных композиций. Гидроабразивная резка характеризуется достаточно высокой стоимостью. Резка данным методом тонких листов приводит к их разрушению, кроме того, многие материалы гигроскопичны, что исключает возможность использования такой технологии. Более универсальным методом является обработка с помощью механического резания, так как при определенных условиях механического резания перечисленные недостатки упомянутых методов отсутствуют [4].

Однако обработка неметаллических композиционных материалов резанием имеет также и некоторые специфические особенности [3, 4]. Высокая твердость и абразивное воздействие наполнителя на режущий элемент значительно снижает стойкость инструмента. Низкие теплопроводность и теплостойкость композиционных

материалов, наряду с увеличением пятна контакта между обрабатываемой заготовкой и инструментом из-за упругого воздействия на заднюю поверхность, приводят к повышению температур в зоне резания и, как следствие, выгоранию матрицы неметаллических композитов. Применение смазывающе-охлаждающих технологических сред в большинстве случаев также недопустимо в связи с повышенным влагопоглощением некоторых видов наполнителей, что усугубляет процесс. В результате механохимических процессов при деструкции полимерного связующего возникает повышенный износ инструмента при резании. Слоистая структура и низкая прочность некоторых композитов препятствуют получению высокого качества поверхности. Ресурс инструмента определяется технологическим критерием износа, так как во время обработки неметаллического композиционного материала при достижении недопустимого износа инструмента на обработанной поверхности появляются характерные дефекты в виде ворсистости, повышенной шероховатости и прижогов [5].

На качество обработанной поверхности изделия влияет состояние режущей кромки и рабочих поверхностей инструмента, а также поврежденность инструментального материала вблизи кромки, формирующееся, как правило, при затачивании. Остаточные напряжения в поверхностном слое толщиной приблизительно 0,5...1 мм являются определяющим фактором износостойкости режущего клина. Геометрией режущего лезвия инструмента и шероховатостью его рабочих поверхностей определяются условия реализации процесса резания, износ режущего инструмента во время работы и, как следствие, качество обработанной поверхности [6–11].

В работах авторов [5] для обработки неметаллических композитов рекомендуется в качестве инструментального материала применять твердый сплав группы ВК (ВК6, ВК8 и т. д.). Угол при вершине режущего элемента варьируется в пределах 50...60°. Но получение качественного режущего лезвия из высокопрочных инструментальных материалов с обеспечением специфической для обработки композитов геометрией традиционными методами достаточно сложный и трудоемкий процесс [12–14].

Методика исследований

Получение качественного режущего лезвия возможно с использованием методов алмазного затачивания, обеспечивающих наиболее благоприятные условия формообразования режущего элемента, такие как низкие силы резания, невысокие температуры в зоне обработки и т. д. Этим условиям соответствуют следующие методы затачивания [15].

1. Традиционное алмазное шлифование.
2. Электрохимическое шлифование.
3. Алмазное шлифование с электрохимической правкой круга.
4. Комбинированное электроалмазное шлифование.

При традиционном алмажном затачивании инструмента, оснащенного твердосплавными пластинами, используются алмазные круги на органической, керамической и металлической связке.

Алмазные круги на органической связке достаточно эластичны, имеют высокую упругость и ударную вязкость, в результате чего они могут гасить вибрационные и ударные нагрузки, возникающие во время шлифования. Но такая связка обладает низкой теплостойкостью и начинает выгорать уже при температуре 250...300 °С. Шлифовальные круги на органической связке также интенсивно изнашиваются и теряют свою форму, что приводит к нерациональному расходу дорогостоящего абразивного материала и значительно усложняет процесс формообразования.

Кругам на керамической связке свойственна высокая теплостойкость, достаточно большая жесткость и химическая стойкость. Но такая связка плохо воспринимает ударные нагрузки и недостаточно хорошо удерживает алмазные зерна, износ круга идет быстро и неравномерно.

Алмазные круги на металлической связке лишены недостатков перечисленных связок. Однако подобные шлифовальные круги не получили широкого распространения на инструментальном производстве из-за высокой склонности к засаливанию, которое происходит в первые минуты работы круга [5, 15, 16]. Подобные шлифовальные круги имеют огромный потенциал использования при затачивании твердосплавного инструмента, который реализуется при применении комбинированных электрофизических и электрохимических методов.

Широко распространен метод электрохимического шлифования, заключающийся в том, что затачиваемый режущий элемент подключается к положительному полюсу, а алмазный круг на металлической связке – к отрицательному. Замыкание электрической цепи происходит посредством подачи электролита в зазор, образуемый шлифовальным кругом и затачиваемым инструментом. Однако при затачивании данным методом поверхности затачиваемого режущего элемента растравливаются неравномерно, что приводит к образованию отдельных кратеров и других локальных дефектов эрозии [5, 15, 16].

Алмазное шлифование с электрохимической правкой круга. Электрическая цепь образуется посредством подключения шлифовального круга к положительному полюсу источника питания, специального правящего катода – к отрицательному, и замыкается цепь с помощью подачи электролита в зазор между кругом и катодом. Происходит травление засаленного слоя абразивного алмазного инструмента и отчасти его связки. Таким образом, поддерживается чистота алмазного слоя и обновление затупившихся абразивных зерен, а также обеспечивается сохранение высоких и постоянных режущих свойств шлифовального круга. При этом затачиваемый инструмент остается электрически нейтральным [5].

Комбинированное электроалмазное шлифование представляет собой объединение двух способов [5]: электрохимическое шлифование и алмазное шлифование с электрохимической правкой круга, т. е. одновременно работают две электрические цепи – первая обеспечивает правку круга от засаленного слоя, вторая разупрочняет поверхность затачиваемой поверхности.

Представляют интерес не только прогрессивные методы обработки высокопрочных инструментальных материалов, но и качественные и эксплуатационные свойства этих материалов непосредственно во время процесса и после обработки. В этом случае могут облегчить задачу методы моделирования и прочностного расчета.

Авторы работ [17–22] уделяли внимание моделированию процессов обработки высокопрочных материалов, в том числе и шлифованию, однако во внимание не были взяты специфические особенности процесса резания и инструмента для лезвийной обработки неметаллических ком-

позитов. Кроме того, необходима детальная сравнительная оценка методов абразивной обработки, требующая проведения большого объема экспериментов. Для сокращения объема исследований, экономии материальных ресурсов с целью предварительной оценки методов затачивания инструмента для обработки композитов, оснащенного твердосплавными режущими элементами, проведем моделирование процесса затачивания.

Зададимся условиями процесса затачивания твердосплавной пластины одной из рекомендуемых марок ВК6 (WC-Co). Выберем чашечный шлифовальный круг на металлической связке типа М1, зернистостью F100 (160/125), абразивный материал АС6.

Исходя из результатов работ [5, 15, 16] принимаем следующие режимы обработки: скорость резания $V_{кр} = 15...45$ м/с, глубина резания $t = 0,01...0,03$ мм, продольная подача $S_{пр} = 2...6$ м/мин. Обусловимся, что припуск снимается за один ход (прямой), на обратном ходе съема материала не осуществляется.

Для моделирования процесса затачивания режущего элемента из твердого сплава рассмотрим схему обработки, изображенную на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная схема алмазного затачивания твердосплавного режущего элемента

Fig. 1. Basic diagram of a carbide cutting element diamond honing

Для моделирования процесса затачивания и оценки разрушения твердосплавного режущего клина сделаем некоторые допущения:

- материал пластины будем считать однородным, сплошным, изотропным;
- радиус скругления режущей кромки равен нулю, пластина абсолютно острая;
- шлифовальный круг работает с постоянной скоростью вращения;
- технологическая система абсолютно жесткая;
- абразивные зерна имеют одинаковую геометрию, ориентированы определенным образом в пространстве и выступают на одинаковую величину из связки с учетом зернистости круга;
- при обработке не учтено воздействие смазочно-охлаждающих технологических средств;
- связка шлифовального круга не взаимодействует с обрабатываемым материалом.

Для описания разрушения и напряженно-деформированного режущего лезвия твердосплавной пластины воспользуемся уравнением модели разрушения Джонсона–Кука [23]:

$$D = \frac{1}{\varepsilon_f} \sum_i \Delta \varepsilon_p^i,$$

где $\Delta \varepsilon_p^i$ – приращение эффективной пластической деформации в конечном элементе на i -м шаге интегрирования по времени. Величина ε_f вычисляется по формуле

$$\varepsilon_p^f = \left[D_1 + D_2 \exp \left(D_3 \frac{p}{\sigma_{ef}} \right) \right] \times \left[1 + D_4 \ln \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_0} \right] \left[1 + D_5 \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right],$$

где $D_1 \dots D_5$, ε_0 – параметры материала; σ_{ef} – эффективное напряжение; p – давление; T_m – температура плавления; T_r – комнатная температура; ε_p – эффективная пластическая деформация.

Тогда уравнение, определяющее предел текучести, будет иметь вид

$$\sigma_y = \left(A + B \varepsilon_p^n \right) \left(1 + c \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right),$$

где A , B , c , n , m – параметры материала.

Для описания высокоскоростного взаимодействия твердых тел важную роль играет урав-

нение состояния конденсированной фазы материала. Необходимо использовать уравнение Ми-Грюнайзена в полиномиальной форме:

$$P = A_1 + A_2 + A_3 + (B_0 + B_1) \\ \text{при } \xi = [(\rho / \rho_0) - 1] > 0 \text{ (сжатие),}$$

$$P = T_1 + T_2 + B_0 \rho_0 E_T, \text{ при } \xi < 0 \text{ (растяжение),}$$

где P – давление; $A_1, A_2, A_3, B_0, B_1, T_1, T_2$ – постоянные материала; ρ, ρ_0 – текущая и начальная массовая плотность соответственно; E_T – тепловая составляющая удельной внутренней энергии.

Для реализации предложенной методики воспользуемся модулем Explicit STR программного комплекса Ansys. Необходимо выбрать оптимальный размер элемента такой, чтобы решение задачи не требовало чрезмерно больших вычислительных мощностей и результат вычислений был достоверен. Потребность в вычислительных мощностях и продолжительность по времени процесса расчета будет зависеть в основном от размера конечноэлементной сетки и от шага по времени, который определяется исходя из критерия Куранта–Фридрихса–Леви:

$$dt_{\max} = b \sqrt{\frac{r}{E}},$$

где b – характерный размер элемента; r – плотность материала; E – модуль упругости материала, т. е. чем больше размер элемента, тем меньше требуется ресурсов для моделирования.

Вместе с тем для получения достоверного результата моделирования процесса разрушения и формирования напряженно-деформированного состояния режущего элемента при заточивании твердосплавного инструмента для обработки неметаллических композиционных материалов необходимо выбрать размер элемента таким, чтобы он был меньше или равен реальным разрушениям. При традиционном алмазном шлифовании диапазон разрушения составляет 0,02...0,1 мм [5], поэтому максимальный размер элемента условно принимаем 0,02 мм.

Для снижения требований к вычислительным мощностям необходимо как можно меньше сделать расчетную область без ущерба для точности моделирования, что сократит размер конечноэлементной сетки. Из исследований [24],

проведенных ранее, видно, что критические напряжения и разрушения возникают только вдоль режущей кромки, т. е. там, где шлифовальный круг непосредственно контактировал с затачиваемым режущим элементом (участок рабочей зоны режущего элемента). Это и послужит критерием для определения ширины моделируемого участка. Длину расчетной области необходимо взять такой, чтобы на ней могли отразиться краевые и срединные дефекты заточивания без влияния друг на друга, т. е. она должна быть в 5...10 раз больше этих разрушений. Исходя из приведенных доводов возьмем расчетную область со следующими геометрическими параметрами: длина 3 мм, ширина 1 мм, высота 1 мм (рис. 2).

Рис. 2. Геометрические параметры расчетной области при моделировании процесса заточивания твердосплавного режущего элемента

Fig. 2. Geometric parameters of the computational domain for modeling the grinding process of a carbide cutting element

Результаты и их обсуждение

В предложенных условиях произведены расчеты традиционного алмазного, электрохимического алмазного шлифования, алмазного шлифования с электрохимической правкой круга и комбинированного метода шлифования, сочетающего в себя электрохимическое алмазное шлифование с одновременной электрохимической правкой круга на режимах, указанных выше.

В качестве примера рассмотрим результаты расчета напряженно-деформированного состояния лезвия и разрушения режущей кромки при традиционном алмазном заточивании на режимах резания: скорость резания $V_{кр} = 45$ м/с,

глубина резания $t = 0,03\text{ мм}$, продольная подача $S_{\text{пр}} = 6\text{ м/мин}$. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, *а, б*, при традиционном алмазном затачивании разрушения вдоль режущей кромки находятся в пределах от 0,02 до 0,2 мм, что совпадает с результатами ранее проведенных натурных исследований на тех же режимах резания, представленных на рис. 4.

Необходимо также отметить, что рельеф передней поверхности после расчета близок к следам, остающимся после обработки абразивными зернами, но с допущениями на масштабность конечноэлементной модели. Это объясняется тем, что размер шероховатости по передней поверхности составляет порядка 0,85...0,55 мкм. Чтобы скорректировать получение шероховатости, близкой к реальной, необходимо построить конечноэлементную сетку с меньшим размером элемента, как минимум равным высоте шероховатости, а это, в свою очередь, потребует значительных вычислительных мощностей. На

данном этапе задачей представленного моделирования является определение величины разрушения вдоль режущей кромки и напряженно-деформированного состояния режущего элемента. Определение шероховатости передней поверхности моделированием методами конечных элементов не являлось целью исследования и нецелесообразно с экономической точки зрения.

Выводы

Применение представленной методики для прогнозирования поврежденности и напряженно-деформированного состояния инструмента для обработки неметаллических композитов, оснащенного твердым сплавом, позволяет:

- оценить методы формообразования с точки зрения минимизации разрушений вдоль режущей кромки и остаточных напряжений на передней и задней поверхности;
- определить наиболее оптимальные диапазоны режимов резания, которые обеспечат

а

б

в

г

Рис. 3. Результаты моделирования процесса традиционного алмазного шлифования твердосплавного режущего элемента:

а – состояние режущей кромки после затачивания, вид с задней поверхности; *б* – состояние режущей кромки после затачивания, вид с передней поверхности; *в* – остаточные напряжения; *г* – разрушения

Fig. 3. Results of simulation of traditional diamond grinding process of carbide cutting element:

а – the state of the cutting edge after grinding the view from the rear surface; *б* – the state of the cutting edge after grinding the view from the front surface; *в* – residual stresses; *г* – damage

а

б

в

г

Рис. 4. Результаты натурных экспериментов затачивания твердосплавной пластины традиционным алмазным методом

Fig. 4. Results of full-scale experiments on carbide plate honing with a traditional diamond method

качественную режущую кромку после затачивания, и они будут уточняться в натурных испытаниях, что резко сократит объем эмпирических исследований;

– вести сравнительный анализ методов формообразования твердосплавного инструмента с целью исключения наиболее неблагоприятных способов затачивания на ранних этапах исследования без проведения натурных экспериментов.

Результаты моделирования с допустимой погрешностью соответствуют реальным процессам, адекватны и являются основой для дальнейших фундаментальных исследований контактных процессов при комбинированной электроалмазной обработке и их влиянии на качество формообразования режущих элементов твердосплавных инструментов для обработки неметаллических композитов.

Список литературы

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с. – ISBN 5-7782-0315-2.
2. Ярославцев В.М. Технологические решения проблем обработки ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. – 2005. – Спец. вып. 2: Композиционные материалы, конструкции и технологии. – С. 41–62.
3. Кугультинов С.Д., Ковальчук А.К., Портнов И.И. Технология обработки конструктивных материалов. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 672 с. – ISBN 5-7038-2795-7.
4. Сидоренко С.А., Ющенко Д.А., Большешапова А.В. Повышение эффективности получения продукции из композиционных древесных материалов с использованием режущих инструментов // Новые

методы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития: сборник материалов Всероссийской молодежной научной конференции 24–26 июня 2014 г. – Саратов: Наука, 2014. – С. 23–26.

5. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 296 с.

6. High-speed grinding of ZHS6-K high-temperature nickel alloy / A.Y. Popov, D.S. Rechenko, K.V. Averkov, V.A. Sergeev // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, N 5–6. – С. 511–512. – doi: 10.3103/S1068798X12050176.

7. Formation of wear-resistant structures on solid alloy for superfinish processing / D.S. Rechenko, A.Y. Popov, B.P. Gritsenko, A.R. Sungatulin, Y.V. Titov, V.P. Sergeev, A.V. Voronov, K.A. Deev, V.A. Pupchin // AIP Annual Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1783, iss. 1. – P. 020191. – doi: 10.1063/1.4966485.

8. Soler Ya.I., Nguyen V.L. Selection of synthesis corundum grain in grinding flat parts from hardened steel 30CHGSA by the macrogeometry criterion // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 95–101. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.95.

9. High-quality tools in the machining of commutators / D.Y. Belan, V.V. Dyundin, D.S. Rechenko, Y.V. Titov // Russian Engineering Research. – 2016. – Vol. 36, N 11. – P. 948–950. – doi: 10.3103/S1068798X16110058.

10. Братан С.М., Новоселов Ю.К., Минаев Н.А. Моделирование съема припуска на операциях комбинированного шлифования в пассивирующих средах // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия: Машиностроение. – 2009. – № 56. – С. 244–257.

11. Братан С.М., Сидоров Д.Е., Ревенко Д.В. Моделирование съема материала при шлифовании поверхностей с введением в зону обработки дополнительной электрической энергии // Вісник СевНТУ. – 2011. – № 118. – С. 6–14.

12. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01002. – doi: 10.1051/mateconf/201712901002.

13. Identification of removal parameters at combined grinding of conductive ceramic materials / S. Bratan, S. Roshchupkin, A. Kolesov, B. Bogutsky // MATEC Web of Conferences. – 2017. – P. 01079. – doi: 10.1051/mateconf/201712901079.

14. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the

manufacturing step “Diamond smoothing” / V.Yu. Skeeba, V.V. Ivancivsky, A.K. Zhigulev, P.Yu. Skeeba, D.V. Lobanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 125. – P. 012031. – doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.

15. Contact processes in grinding / A. Yanyushkin, D. Lobanov, P. Arkhipov, V. Ivancivsky // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 17–21. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.17.

16. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В. Потеря режущей способности алмазных кругов на металлической связке при шлифовании композиционных материалов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 1 (47). – С. 178–183.

17. Новоселов Ю.К., Братан С.М. Моделирование процессов взаимодействия шлифовального круга и заготовки при чистовом шлифовании // Вісник СевНТУ. – 2011. – № 118. – С. 92–106.

18. Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Pushnin V.N. Numerical modeling of steel surface hardening in the process of high energy heating by high frequency currents // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 698. – P. 288–293. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.698.288.

19. Bratan S., Novosyolov Y., Roshupkin S. Modeling of cutting forces in diamond drilling // International Journal of Innovative and Information Manufacturing Technologies. – 2015. – N 2. – P. 59–63.

20. Солер Я.И., Казимиров Д.Ю. Моделирование теплофизики плоского шлифования // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2005. – № 5. – С. 56–62.

21. Богуцкий В.Б., Новоселов Ю.К., Братан С.М. Расчет размерного износа абразивных зерен при наружном круглом шлифовании // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 279–283.

22. Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P. Modeling the grinding wheel working surface state // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1419–1425. – doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.655.

23. Holmquist T.J., Johnson G.R., Gooch W.A. Modeling the 14.5 mm BS41 projectile for ballistic impact computations // Wit Transactions on Modelling and Simulation. – 2005. – Vol. 40. – P. 61–75.

24. Лобанов Д.В., Мулюхин Н.В. Методика прогнозирования поврежденности твердого сплава при затачивании инструмента для обработки неметаллических композитов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2018. – Т. 5, № 1–2. – С. 78–84.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

The Lines of Approach to the Problems of Shaping the Cutting Tool for Processing Nonmetallic Composites

Alexander Yanyushkin^a, Dmitry Lobanov^{b, *}, Nikolay Muliukhin^c

I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>, yanyushkinas@mail.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>, lobanovdv@list.ru,

^c <https://orcid.org/0000-0003-2960-5567>, muliukhin@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 07 June 2018

Revised: 05 July 2018

Accepted: 30 July 2018

Available online: 15 September 2018

Keywords:

Grinding

Numerical modeling

Hard alloy

Cutting tool

Damage

Quality

Non-metallic composites

ABSTRACT

Introduction. The development trends and prospects for the use of non-metallic composite materials, its application in engineering, as well as ways of obtaining blanks and parts from similar materials are considered. A brief comparative analysis of the methods for processing polymer composites is given; it is revealed that the mechanical method is more flexible and wide in application for cutting nonmetallic composites. The difficulties of processing composites associated with the properties of the materials of the components of nonmetallic composites are indicated. It can be seen that the tool that processes this group of composites works well in difficult conditions, which impose especially high demands on the tool for strength, wear resistance, hardness, etc. Also, a tool designed for processing non-metallic composite materials should have special geometric characteristics, different from the geometry of the cutting elements used for processing metals. Carbide-tipped instrumental materials of the VC group meet these requirements. However, to obtain a high-quality cutting edge with such geometric parameters and mechanical-physical properties of a hard alloy is a rather great difficulty. In this work, traditional diamond grinding; electrochemical grinding; diamond grinding with electro-chemical correction of the circle; combined electro-diamond grinding are used for sharpening carbide cutting elements. **Objective.** Investigation of the state of the carbide plate after honing is the objective of the work. **Methods of research.** The modeling technique for determining the damage and stress-strain state of the cutting edge of the carbide tool after sharpening is given. This technique is based on the Johnson-Cook breakdown model. **Results and discussion.** The presented technique makes it possible to evaluate these grinding methods for obtaining the most qualitatively sharpened cutting element for the processing of nonmetallic composite materials. Also, the use of this technique reduces the number of experiments in practice, which is economically advantageous.

For citation: Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Muliukhin N.V. The lines of approach to the problems of shaping the cutting tool for processing nonmetallic composites. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 36–46. doi: 10.17212/1994-6309-2018-20.3-36-46. (In Russian).

References

1. Bataev A.A., Bataev V.A. *Kompozitsionnye materialy: stroenie, poluchenie, primeneniye* [Composite materials: structure, obtaining, using]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2002. 384 p. ISBN 5-7782-0315-2.
2. Yaroslavtsev V.M. Tekhnologicheskie resheniya problem obrabotki raketnykh i aerokosmicheskikh konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov [Technological solutions to problems processing the rocket and aerospace composite structures]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya: Mashinostroyeniye* = *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Mechanical Engineering*, 2005, no. S2, pp. 41–62.

* Corresponding author

Lobanov Dmitry V., D.Sc. (Engineering), Professor
 The Ulianov Chuvash State University,
 15 Moskovsky Prospekt,
 Cheboksary, 428015, Russian Federation
Tel.: +7-908-303-47-45, **e-mail:** lobanovdv@list.ru

3. Kugul'tinov S.D., Koval'chuk A.K., Portnov I.I. *Tekhnologiya obrabotki konstruksionnykh materialov* [Processing technology of construction materials]. 2nd ed. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. 672 p. ISBN 5-7038-2795-7.

4. Sidorenko S.A., Yushchenko D.A., Bol'sheshapova A.V. [Increasing the efficiency of obtaining products from composite wood materials with the use of cutting tools]. *Novye metody i tekhnologii: sostoyanie voprosa i perspektivy razvitiya: sbornik materialov Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii* [Proceedings of All-Russian youth scientific conference "New methods and technologies: state and development prospects"]. Saratov, 2014, pp. 23–26. (In Russian).

5. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. *Tekhnologiya instrumental'nogo obespecheniya proizvodstva izdelii iz kompozitsionnykh nemetallicheskiykh materialov* [The technology of instrumental production of products from composite non-metallic materials]. Staryi Oskol, TNT Publ., 2012. 296 p.

6. Popov A.Y., Rechenko D.S., Averkov K.V., Sergeev V.A. High-speed grinding of ZhS6-K high-temperature nickel alloy. *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, no. 5–6, pp. 511–512. doi: 10.3103/S1068798X12050176.

7. Rechenko D.S., Popov A.Y., Gritsenko B.P., Sungatulin A.R., Titov Y.V., Sergeev V.P., Voronov A.V., Deev K.A., Pupchin V.A. Formation of wear-resistant structures on solid alloy for superfinish processing. *AIP Annual Conference Proceedings*, 2016, vol. 1783, iss. 1, p. 020191. doi: 10.1063/1.4966485.

8. Soler Ya.I., Nguyen V.L. Selection of synthesis corundum grain in grinding flat parts from hardened steel 30CHGSA by the macrogeometry criterion. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 788, pp. 95–101. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.95.

9. Belan D.Y., Dyundin V.V., Rechenko D.S., Titov Y.V. High-quality tools in the machining of commutators. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36, no. 11, pp. 948–950. doi: 10.3103/S1068798X16110058.

10. Bratan S.M., Novoselov Yu.K., Minaev N.A. Modelirovaniye s"ema pripuska na operatsiyakh kombinirovannogo shlifovaniya v passiviruyushchikh sredakh [Simulation of allowance removal in combined grinding operations in passive media]. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta Ukrainy "Kievskii politekhnicheskii institut". Seriya: Mashinostroenie = Bulletin of National Technical University of Ukraine "KPI". Series "Mechanical Engineering"*, 2009, no. 56, pp. 244–257.

11. Bratan S.M., Sidorov D.E., Revenko D.V. Modelirovaniye s"ema materiala pri shlifovanii poverkhnosti s vvedeniem v zonu obrabotki dopolnitel'noi elektricheskoi energii [Modeling material removal during surface grinding with introduction of additional electric energy into the processing zone]. *Visnik SevNTU = Journal of the Sevastopol National Technical University*, 2011, no. 118, pp. 6–14.

12. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01002. doi: 10.1051/mateconf/201712901002.

13. Bratan S., Roshchupkin S., Kolesov A., Bogutsky B. Identification of removal parameters at combined grinding of conductive ceramic materials. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01079. doi: 10.1051/mateconf/201712901079.

14. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Zhigulev A.K., Skeebe P.Yu., Lobanov D.V. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step "Diamond smoothing". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 125, p. 012031. doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.

15. Yanyushkin A., Lobanov D., Arkhipov P., Ivancivsky V. Contact processes in grinding. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 788, pp. 17–21. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.17.

16. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V. Poterya rezhushchei sposobnosti almaznykh krugov na metallicheskoj svyazke pri shlifovanii kompozitsionnykh materialov [Loss of cutting ability of metal bound diamond wheels at grind of composite materials]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva = Vestnik SibGAU*, 2013, no. 1 (47), pp. 178–183.

17. Novoselov Yu.K., Bratan S.M. Modelirovaniye protsessov vzaimodeistviya shlifoval'nogo kruga i zagotovki pri chistovom shlifovanii [Simulation of the processes of interaction between grinding wheels and a workpiece at fair grinding]. *Visnik SevNTU = Journal of the Sevastopol National Technical University*, 2011, no. 118, pp. 92–106.

18. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Pushnin V.N. Numerical modeling of steel surface hardening in the process of high energy heating by high frequency currents. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 698, pp. 288–293. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.698.288.

19. Bratan S., Novosyolov Y., Roshchupkin S. Modeling of cutting forces in diamond drilling. *International Journal of Innovative and Information Manufacturing Technologies*, 2015, no. 2, pp. 59–63.

20. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu. Modelirovanie teplofiziki ploskogo shlifovaniya [Thermophysics of plane grinding]. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin = Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2005, no. 5, pp. 56–62. (In Russian).
21. Bogutskii V.B., Novoselov Yu.K., Bratan S.M. Raschet razmernogo iznosa abrazivnykh zeren pri naruzhnom kruglom shlifovanii [Calculation of dimensional wear of abrasive grains with external circular grinding]. *Polzunovskii al'manakh = Polzunov Almanac*, 2012, no. 1, pp. 279–283.
22. Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P. Modeling the grinding wheel working surface state. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 1419–1425. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.655.
23. Holmquist T.J., Johnson G.R., Gooch W.A. Modeling the 14.5 mm BS41 projectile for ballistic impact computations. *WIT Transactions on Modelling and Simulation*, 2005, vol. 40, pp. 61–75.
24. Lobanov D.V., Mulyukhin N.V. Metodika prognozirovaniya povrezhdennosti tverdogo splava pri zatachivanii instrumenta dlya obrabotki nemetallicheskih kompozitov [Methodology for predicting the damage of a solid alloy at the tooling of a tool for processing nonmetallic composites]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii = Actual problems in machine building*, 2018, vol. 5, no. 1–2, pp. 78–84.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2018 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).