

УДК 678.067621.892  
DOI: 10.12737/18712

**Ю.М. Зубарев, д.т.н.,  
А.В. Приемышев, к.т.н.,  
А.С. Заостровский, инженер**  
(ФГАОУВО Санкт-Петербургский государственный университет Петра Великого,  
195251, С-Петербург, Политехническая ул., 29)  
E-mail: office@teami.spbstu.ru

## **Особенности технологии механической обработки углепластиков**

*Изложены результаты исследований лезвийной обработки различным инструментом антифрикционных углепластиков. Приведены данные по формообразованию стружки при обработке заготовок из различных углепластиков.*

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы; углепластики; лезвийная обработка; режущий инструмент; режимы резания; качество обработки.

**Yu.M. Zubarev, D.Eng.,  
A.V. Priyomyshev, Can.Eng.,  
A.S. Zaostrovsky, Engineer**  
(FSEI Peter the Great State University of Saint-Petersburg,  
29, Polytechnicheskaya Str., S-Petersburg, 195251)

## **Peculiarities in technology of coal-plastic machining**

*At present polymeric composite materials (PCM) substitute more and more wider metal in various branches of mechanical engineering. But the mechanical engineering of such materials with an edge tool causes considerable difficulties, as it differs in principle from common steel and alloy machining. A significant factor in choice of cutting modes and tool application and, as a consequence of a chip forming at PCM machining is a fiber orientation taking into account a cutting direction. The paper reports the results of researches in edge working by different tools with antifriction coal-plastic.*

**Keywords:** polymeric composite materials; coal-plastics; edge working; cutter; cutting modes; machining quality.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящее время всё более активно начинают замещать металл в различных отраслях машиностроения. Однако при механической обработке таких материалов возникают определённые сложности, связанные с их анизотропными и физико-механическими свойствами.

При резании передняя поверхность резца стремится сдвинуть слой материала шириной, равной величине подачи относительно поверхности резания. Армирующие волокна ПКМ этому препятствуют, причём эффективность сопротивлению сдвига будет зависеть от ориентации волокон по отношению к движе-

нию режущего лезвия. Под действием контактных напряжений материал сначала уплотняется, а затем происходит его смятие и хрупкое разрушение волокон и полимерной матрицы.

Полимерные композиционные материалы на основе углепластиков обладают низкой теплопроводностью, что обуславливает слабый отвод тепла из зоны резания. Это накладывает ограничения на технологические параметры процесса обработки.

Деструкция полимерного связующего материала при резании, в результате которой в микрообъёмах образуется вязко-текущий полимер, являющийся поверхностно-активным

веществом, снижающий поверхностную энергию материала инструмента, приводит к отрыву от его поверхности отдельных микро- и макрочастиц. В результате этого возникает химический адсорбционный износ инструмента, а также склонность к упругому восстановлению обработанной поверхности антифрикционных и других углепластиков, приводящая к появлению больших площадок контакта по задней поверхности инструмента. Это определяет износ инструмента по задней поверхности и значительное увеличение силы резания, что приводит к росту динамических явлений при обработке, снижению точности и качества поверхностного слоя изделий.

Используемая матрица в ПКМ обеспечивает связь армирующего материала, а также передачу и распределение напряжения в его объёме. Армирующие наполнители (тонкие непрерывные волокна, нити, ткани и жгуты) несут на себе основные нагрузки, обеспечивают физико-химические характеристики материала – высокую прочность и жёсткость в направлении ориентации волокон. Исследуемые ПКМ состоят из армирующего материала на основе угле-, стекло-, арамидно-, базальтовых тканых с термоотверждающейся (полиэфирной, винилоэфирной, фенольной, эпоксидной) или термопластичной (PEEK полиэфирэфиркетон), PPS (полифенилен сульфид), PEL (полиэфиримид и т.д.) матрицей. Армирующие материалы в зависимости от необходимых или заданных нагрузок имеют разные плотности ( $\text{гр/мм}^2$ ), модули упругости (МПа), направления (однаправленные, саржа, плейн, твил, мультиаксиальные и др.).

Проблемы механической обработки ПКМ, в первую очередь, связаны с особенностями процесса резания непластичных полимерных композиционных материалов. Все закономерности процессов, происходящих в зоне резания, связанных с пластическим деформированием металла, неприменимы для ПКМ. Многослойная полимерная композиционная структура с разными прочностными характеристиками, теплопроводностью, способностью сохранять свои свойства при разных рабочих температурах ограничивает возможности применения стандартных условий обработки. В первую очередь, это касается выбора скорости резания, определяющей теплонапряжённость в зоне обработки.

Структура ПКМ, особенности её формирования, анизотропия свойств, связанная с различной реакцией составляющих компонентов на действие температурных и силовых факто-

ров, а также с определенной направленностью армирующих элементов, оказывает особое влияние на физические процессы в зоне резания, построение технологических процессов, выбор оборудования и инструмента, структуры операций и условий их выполнения. При обработке заготовок из ПКМ практически не образуется стружки. В зависимости от матрицы создаётся пыль, которая имеет хорошую электропроводность (углеволокна), что необходимо учитывать при выборе оборудования.

Параметры шероховатости поверхности, образующейся при обработке, зависят от направления траектории движения, подачи инструмента и от направления волокон армирующих элементов. При неблагоприятном сочетании этих движений возможно появление следов разрыва волокон, выброса фрагментов компонентов ПКМ на поверхность и ухудшение параметров шероховатости поверхности.

Важным фактором в определении режимов резания и стружкообразования при обработке однонаправленных ПКМ является ориентация волокна с учётом направления резания. Угол ориентации волокна определяется по направлению движения часовой стрелки с учётом направления резания (рис.1).

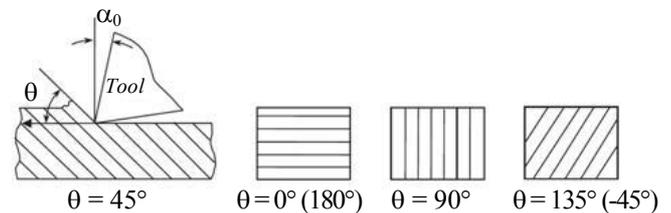


Рис. 1. Ориентация волокон с учётом направления резания

Как показывают исследования, на процесс стружкообразования основное влияние оказывают следующие факторы: передний угол режущего инструмента, материал волокна и материал матрицы.

Процесс стружкообразования при обработке однонаправленных ПКМ можно подразделить на пять различных типов в зависимости от ориентации волокна и значения наклона переднего угла резания (рис. 2), при этом резец имеет острую кромку с радиусом 3...5 мкм.

Для материалов, которые имеют высокую эластичную деформацию, образуется сливная стружка при условиях низкой скорости резания и большом положительном переднем угле инструмента.

Данный тип стружки почти полностью об-

разрушается посредством эластичной деформации (если цепи полимеров не обладают высокой эластичностью, особенно это проявляется с терморезактивной матрицей, то образуется элементарная стружка) и толщина стружки равна глубине реза ( $r = 1$ ). Данный тип стружки не образуется при резании металлов.

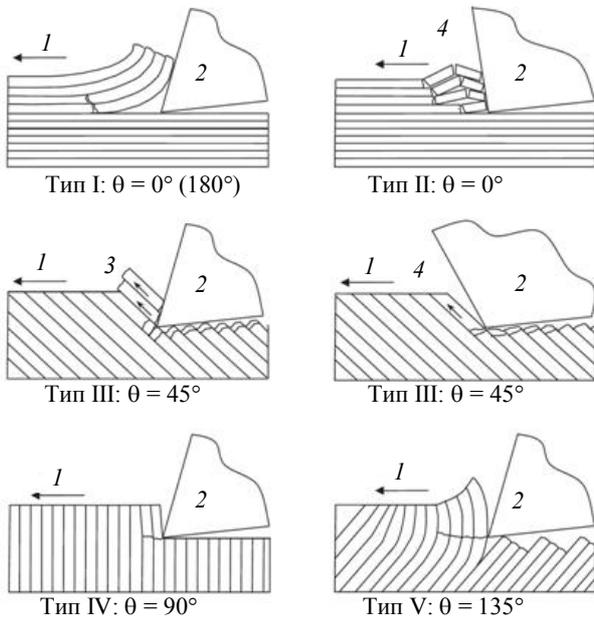


Рис. 2. Различные режимы стружкообразования при обработке ПКМ:

1 – направление резания; 2 – режущий инструмент; 3 – направление сдвига стружки; 4 – отрицательный передний угол

Другой тип сливной стружки, образующейся при резании термопластиков, обусловлен пластической деформацией материала, так как он проходит через плоскость сдвига. Угол наклона плоскости среза определяется условием минимальной мощности обработки. Данный тип стружки похож на тот, который образуется при обработке вязких металлов. Толщина стружки обычно выше, чем глубина резания ( $r < 1,0$ ).

На рис. 3 показан тип стружки на плоскости среза, который был получен при обработке поликарбоната. Благодаря вязкости обрабатываемого материала, было достигнуто уменьшение шероховатости поверхности. Элементарная стружка образуется при обработке хрупких материалов, таких как терморезактопластов и некоторых термопластов с большим передним углом инструмента и большой глубиной резания. При обработке данных материалов перед углом резания по наклонной образуется трещина, стружка генерируется посредством изгибающего момента, который влияет на образование стружки с момента достижения трещиной определённой длины. Это приводит к низкому качеству поверхности после обработки.

Все эксперименты проводили при точении заготовок из антифрикционных углепластиков на токарном станке с ЧПУ мод. Mazak Quickturn (Япония) повышенной точности.

Материал режущей части инструмента при обработке углепластиков должен быть весьма

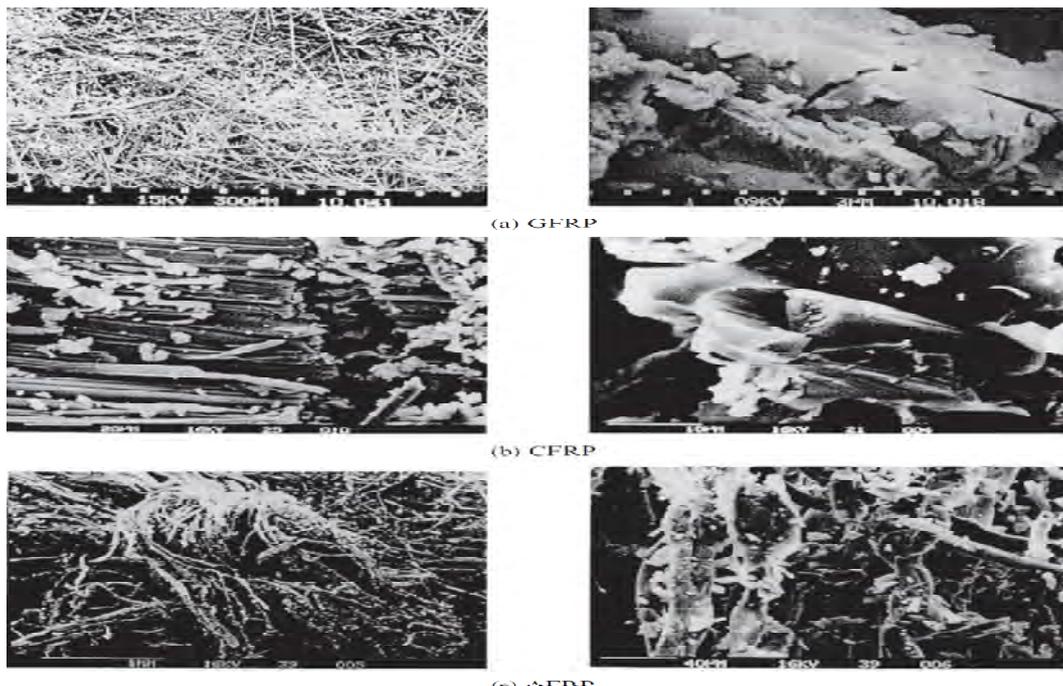


Рис. 3. Виды стружки при обработке ПКМ

износостойким, т.е. выдерживать абразивность волокон, а также другие факторы, которые участвуют в процессе резания при обработке ПКМ. Геометрия режущего инструмента должна обеспечивать угол для сдвига (среза) волокон.

Эти два требования кардинально отличаются от тех, что применяются при обработке металлов. При токарной обработке углепластиков применяли инструменты, оснащенные поликристаллическими алмазами (АСПК или РСД), кубическим нитридом бора (эльбор-Р, гексанит-Р) и твердого сплава групп ТК и ТТК с покрытием. При обработке ПКМ образующиеся абразивные частицы способствуют быстрому износу режущей кромки инструмента. Максимальную производительность при минимальном износе при обработке ПКМ обеспечивает инструмент с поликристаллическим алмазом, т.е. соединение алмазных частиц и металлической связки.

Результаты экспериментов по влиянию времени обработки на износ инструмента из АСПК приведены на рис. 4.

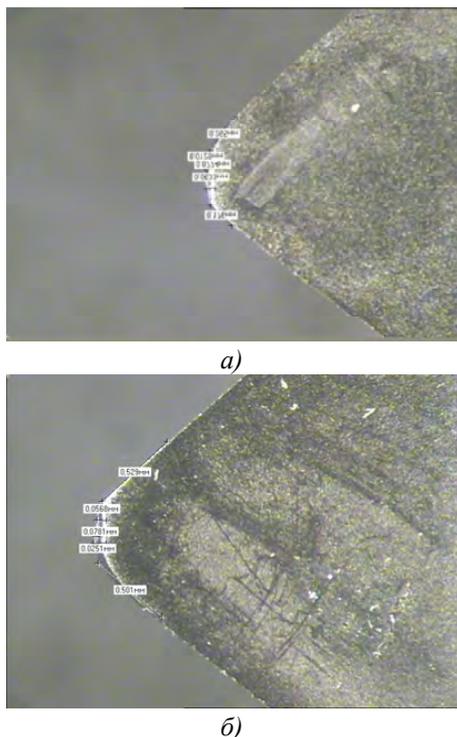


Рис. 4. Время обработки 60 мин (а), 8 ч (б)

### Выводы

1. Многослойная полимерная композиционная структура с разными прочностными характеристиками, разной теплопроводностью и т.п. предопределяет необходимость проведения специальных исследований с целью повышения эффективности обработки ПКМ лез-

вийным режущим инструментом.

2. Важным фактором в определении режимов резания, геометрии режущего инструмента и стружкообразования является ориентация волокон.

3. На качество обработанной поверхности значительное влияние оказывают тип армирования и направление волокон.

4. На основании выполненных исследований были установлены критерии износа резцов и АСПК: для черновой обработки –  $h_3 = 0,1 \dots 0,2$  мкм; для чистовой обработки –  $h_3 = 0,08 \dots 0,1$  мкм. При этом  $Rz = 40 \dots 10$  мкм при предварительной обработке и  $Ra = 0,8 \dots 1,2$  мкм при чистовой обработке.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы. СПб.: Изд-во «Лань», 2014. 304 с.
2. Зубарев Ю.М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении. СПб.: Изд-во «Лань», 2015. 400 с.
3. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор) / Криворучко Д.В., Залого В.А., Колесник В.А. и др.; под общей ред. проф. Залого В.А. Сумы: Изд-во «ИТД. Университетская книга», 2013. 97 с.
4. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. 640 с.
5. Приемышев А.В., Заостровский А.С. Особенности механической обработки высокотехнологичных полимерных композиционных материалов на основе углеродистого волокна с термопластичной матрицей // Наука и образование: инновации, интеграция и развитие. 2014. № 1. С. 174–179.

### REFERENCES

1. Zubarev Yu.M. *Modern Tool Materials*. S-Pb.: Publishing House "Lan", 2014. pp. 304.
2. Zubarev Yu.M. *Special Methods for Billet Machining in Mechanical Engineering*. S-Pb.: Publishing House "Lan", 2015. pp. 400.
3. *Composite Material Machining at Aircraft Assemblage (Analytical Review)* / Krivoruchko D.V., Zaloga V.A., Kolesnik V.A. et al.; under the general editorship of Prof. Zaloga V.A. Sumy: Publishing House "ITD. University Book", 2013. pp. 97.
4. Starkov V.K. *Physics and Optimization of Material Cutting*. M.: Mechanical Engineering, 2009. pp. 640.
5. Priyomyshev A.V., Zaostrovsky A.S. Machining peculiarities of advanced technology polymeric composite materials on basis of carbon fiber with thermo-plastic matrix // *Science and Education: Innovations, Integration and Development*. 2014. № 1. pp. 174–179.

Рецензент д.т.н. А.А. Дьяконов