
III СЕКЦИЯ

**ПОЛИМЕРНЫЕ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ,
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И СИЛИКАТНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И ИХ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ.
ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ
И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 674.055.621

**СПЕЦИФИКА ОБРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ
АППАРАТОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

А.Ф. АНИКЕЕНКО, Г.В. АЛИФИРОВЕЦ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. В статье анализируются ключевые технологические проблемы, препятствующие эффективной обработке полимерных композиционных материалов (ПКМ) на адаптированном парке дерево- и металлообрабатывающих станков с ЧПУ. На примере характерных дефектов доказывается необходимость перехода от методов адаптации к разработке специализированных решений в области оборудования, инструмента и технологических процессов. Предложены перспективные направления для развития отечественной производственной базы в области изготовления высокоточных компонентов БПЛА.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, обработка резанием, износ инструмента, расслоение, беспилотные летательные аппараты, технологическая адаптация.

Введение. Широкое внедрение полимерных композиционных материалов (ПКМ) стало ключевым фактором в создании современных высокоэффективных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Уникальное соотношение прочности и жесткости к массе делает угле- и

стеклопластики идеальными конструкционными материалами для планов, силовых элементов и обшивки [1]. Однако производство деталей из ПКМ сопряжено с фундаментальными технологическими вызовами, которые часто недооцениваются.

Отсутствие на большинстве предприятий специализированного оборудования вынуждает технологов адаптировать под эти задачи традиционный парк дерево- (ДОС) и металлообрабатывающих станков (МОС) с ЧПУ [2]. Данный подход, являясь временным компромиссом, порождает комплекс взаимосвязанных проблем, которые не только снижают экономическую эффективность, но и напрямую влияют на качество и надежность конечной продукции. Целью данной работы является анализ этих проблем и обоснование необходимости перехода от стратегии адаптации к созданию специализированных технологических решений.

Анализ ключевых проблем. Обработка ПКМ резанием принципиально отличается от обработки традиционных материалов. Анизотропия, абразивность и низкая теплопроводность композитов формируют три ключевые проблемы при использовании адаптированного оборудования.

1. Проблема стружкоотделения. Продуктом обработки является мелкодисперсная абразивная пыль, склонная к электростатизации [3]. Это приводит к:

- Быстрому абразивному износу направляющих и винтовых пар металлообрабатывающих станков
- Риску возгорания и взрыва при недостаточной эффективности аспирации
- Невозможности применения СОЖ, что исключает основную систему удаления отходов МОС

2. Проблема охлаждения. Невозможность применения жидкостного охлаждения из-за гигроскопичности полимерных материалов приводит к:

- Концентрации тепла в зоне резания (до 80% тепла передается инструменту)
- Термической деградации материала (обугливание материалов, расслоение)
- Ускоренному диффузионному износу твердосплавного инструмента

3. Проблема инструмента. Абразивное действие армирующих волокон требует:

- Использования дорогостоящего алмазного инструмента (PCD) вместо стандартного

- Специальной геометрии режущей части для эффективного удаления пыли

- Частой замены инструмента даже при использовании твердых сплавов с износостойкими покрытиями

Абразивный характер износа приводит к формированию ярко выраженной площадки износа по задней поверхности, что вызывает:

- Рост усилий резания и вибраций
- Термические повреждения материала
- Дефекты обработки

Данный характер износа принципиально отличается от механизмов износа при обработке металлов и древесины.

Перспективные направления решения проблем

Преодоление указанных ограничений требует системного подхода:

1. Разработка специализированных станков-гибридов, сочетающих:

- Жесткость и точность металлообрабатывающих центров
- Мощные системы сухого пылеудаления с взрывозащитой
- Интегрированные системы подачи охлаждающего воздуха через шпиндель

2. Внедрение систем мониторинга в реальном времени:

- Контроль износа инструмента по косвенным признакам (потребляемая мощность, вибрация)
- Прецизионный контроль температурного режима

3. Развитие отечественного производства специализированного инструмента:

- Алмазный (PCD) инструмент с оптимизированной геометрией
- Износостойкие покрытия для твердых сплавов
- Использование «умного инструмента», позволяющего в процессе обработки менять геометрические параметры.

Заключение. Попытки адаптации традиционного оборудования для обработки ПКМ носят компромиссный характер и не позволяют обеспечить требуемые показатели точности, производительности и экономической эффективности. Дальнейшее развитие производства компонентов БПЛА требует перехода от стратегии адаптации к созданию специализированных технологических решений, включающих разработку нового оборудования, инструмента и систем контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sheikh-Ahmad, J.Y. Machining of polymer composites. Springer, 2009.
2. Hejjaji, A. et al. Machining of CFRP: A review // J. of Reinforced Plastics and Composites. 2018. Vol. 98. P. 557-582.

3. Wang, X. et al. Tool wear in drilling CFRP // J. of Manufacturing Processes. 2013. Vol. 15. P. 127-135.
4. Pereira, R.B. et al. MQL in drilling CFRP // The Int. J. of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol. 118. P. 4123-4136.
5. Кочергин А.Н. Процессы резания и инструмент. М.: Инфра-Инженерия, 2020.

УДК 666.616; 552.11

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛОРУССКИХ БАЗАЛЬТОВ И ТУФОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА

С.Е. БАРАНЦЕВА, Ю.А. КЛИМОШ, А.П. КРАВЧУК

Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь

Базальтовое волокно – перспективный компонент композитных материалов в индустрии производства беспилотных аппаратов, обладающий высокими механическими свойствами, термической и химической стойкостью, экологичностью по сравнению со стекловолокном. Ежегодно в мире отмечается рост объемов выпуска и расширение области применения базальтового волокна, что делает перспективными проекты по развитию добычи и переработки базальтового сырья с целью реализации на внутреннем рынке и экспорта продукции в страны СНГ и Евросоюза.

Самыми крупными потребителями базальтов в РБ являются производители теплоизоляционных изделий на основе базальтового волокна. Белорусские производители волокнистых материалов до 2022 г. импортировали базальтовый щебень из Украины. С 2022 г. в связи с невозможностью импорта украинских базальтов предприятия переориентировались на российский рынок базальтового сырья. В настоящее время белорусскими производителями утеплителей на основе минерального волокна используется сырье, импортируемое из Российской Федерации. Существенное увеличение расстояния от карьера до потребителя сырья, а значит, транспортных расходов, привело к росту средней закупочной цены базальтового щебня почти в 2 раза. Произошедшие изменения обусловили целесообразность поиска альтернативных источников сырья.